ZUR MECHANIK

DER

CANAL- UND KATHODENSTRAHLEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT SECTION II

DER

KÖNIGL. BAYERISCHEN LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT

ZU

MÜNCHEN

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

EINGEREICHT AM 3. MAI 1899

VON

PAUL EWERS

AUS LÜBECK.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1899.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINEN LIEBEN ELTERN.

Eine grosse Reihe wichtiger Untersuchungen hat in neuerer Zeit die Ansicht bestätigt, dass sowohl die Canalstrahlen wie die Kathodenstrahlen aus geschleuderten materiellen Theilchen bestehen. Die Bedingungen für das Auftreten von Canalstrahlen, sowie die Haupteigenschaften derselben, sind schon von Hrn. Goldstein[1]) untersucht worden. Dass die Canalstrahlen, obwohl sie von der Kathode auszugehen scheinen, positive Ladung mit sich führen, ist von Hrn. W. Wien[2]) festgestellt worden; derselbe berechnet auf Grund der elektrischen und magnetischen Ablenkbarkeit derselben für das Verhältniss der Ladung eines geschleuderten Theilchens zur Masse desselben bei einer Eisenkathode den Werth: 312,5 [$cm^{1/2} g^{1/2}/g$] im E. M. S., sowie für die Geschwindigkeit, mit der die Theilchen den Gasraum durchfliegen, den Werth: $3{,}6 . 10^7$ [$cm\,sec^{-1}$].

Analog liegen die Verhältnisse mit den Kathodenstrahlen. Dass dieselben negative Ladung mit sich führen, ist schon seit längerer Zeit bekannt und neuerdings von J. J. Thomson[3]) genauer festgestellt. Als Verhältniss der Ladung eines geschleuderten Theilchens zur Masse desselben hat Hr. J. J. Thomson etwa $5 . 10^6$ [$cm^{1/2} g^{1/2}/g$] pro Gramm gefunden, und zwar unabhängig vom Kathodenmaterial und von der Gasfüllung. Dieselbe Grösse wurde neuerdings von Hrn. Kaufmann[4]) zu $1{,}86 . 10^7$ bestimmt. Für die Geschwindigkeit giebt Hr. Thomson $1{,}5 . 10^9$ [$cm\,sec^{-1}$], Hr. W. Wien[2]) ein Drittel Lichtgeschwindigkeit an. Etwas abweichende Werthe erhielt Hr. P. Lenard[5]), der für das Verhältniss der Ladung eines Theilchens zu seiner Masse den Werth $6{,}4 . 10^6$ angiebt, und für die Geschwindigkeit 0,67 bis $0{,}81 . 10^{10}$ [$cm\,sec^{-1}$].

---

1) E. Goldstein, Sitzungsber. der k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. p. 691 ff. 1886.

2) W. Wien, Wied. Ann. **65.** p. 445 ff. 1898.

3) J. J. Thomson, Phil. Mag. **44.** p. 293. 1897.

4) W. Kaufmann, Wied. Ann. **65.** p. 431 ff. 1898.

5) P. Lenard, Wied. Ann. **64.** p. 279 ff. 1898.

Während nun bei den Canalstrahlen die erhaltenen Werthe mit der Annahme geschleuderter Atome ganz gut in Einklang zu bringen sind, stösst man bei den Kathodenstrahlen auf Schwierigkeiten. Es müsste nämlich hier entweder die Masse eine etwa 2000 mal kleinere sein, als die eines H-Atoms, oder es müsste an einem gewöhnlichen Atom eine etwa 2000 mal so grosse Elektricitätsmenge haften, als man sie bisher bei dem Vorgange der Elektrolyse als an einem Atom sitzend bestimmt hatte.

Abweichend von diesen Resultaten findet Hr. P. Villard[1]), dass man die Kathodenstrahlenerscheinungen als durch Wasserstoff bedingt ansehen müsse. Da in elektrodenlosen Röhren Kathodenstrahlen mit denselben Eigenschaften zu Stande kommen wie in Röhren mit Elektroden, so ist man jedenfalls berechtigt, die Kathodenstrahlen als nicht aus dem Kathodenmateriale bestehende Theilchen anzunehmen.

Wie man sieht, waren zur Klärung der Frage, was es eigentlich für Theilchen sind, welche in den Canal- und Kathodenstrahlen bewegt werden, weitere Versuchs- und Messungsreihen anzustellen. Vor allem war die Schwierigkeit zu heben, welche der Ansicht, dass die genannten Strahlungen auf fortgeschleuderten materiellen Theilchen beruhen, von jeher entgegenstand; denn wenn diese Entladungen mit dem Transport von Massen, wenn auch noch so kleinen, verbunden sind, so müssen sich doch dort, wo sie auftreffen, die geschleuderten Partikelchen ansammeln und als solche nachweisbar werden.

Zur Beantwortung dieser und verwandter Fragen sollen die nachfolgenden Messungsreihen Beiträge liefern.

Bisher hat man die Geschwindigkeit der in den Canal- und Kathodenstrahlen geschleuderten Theilchen hauptsächlich durch Ablenkungsbeobachtungen ermittelt. Bei der grossen Wichtigkeit gerade dieser Fortpflanzungsgeschwindigkeit beider Strahlengebilde war es wichtig, nach anderen Methoden zu suchen, welche dieselbe physikalische Grösse zu ermitteln gestatten. Es lässt sich leicht übersehen, dass man bei Zugrundelegung der aus der Elektrolyse folgenden Werthe für das Verhältniss der Ladung eines materiellen Theilchens zu

1) P. Villard, Compt. rend. **126.** p. 1564—1566. 1898.

seiner Masse: ε/m, aus der Combination einer Messung der Elektricitätsmenge mit einer Energiemessung, d. h. einer calorimetrischen Messung, diese Werthe erhalten kann. Ich bin für Canalstrahlen auf diesem Wege zu fast denselben Werthen wie Hr. W. Wien gekommen, während ich bei den Kathodenstrahlen meine Rechnungen bezüglich der Geschwindigkeit unter der Annahme irgend welcher, vorläufig noch unbestimmter fortgeschleuderter Theilchen durchgeführt habe, natürlich ohne mich auf die Bestimmungen der Herren J. J. Thomson, W. Wien, Kaufmann und Lenard für das Verhältniss der Ladung zur Masse eines materiellen Theilchens zu $1{,}86 \cdot 10^7$. bez. $6{,}49 \cdot 10^6$ oder etwa $5 \cdot 10^6$ zu stützen.

Nach bekannten Gesetzen der Elektrolyse ist 1 g-Aequivalent jedes Stoffes mit einer bestimmten Elektricitätsmenge, nämlich mit 96540 Coulomb, verbunden, d. h. 108 g Ag oder 1 g H würden im Ionenzustande diese Elektricitätsmenge übertragen. Bezeichnet $\varepsilon\,[\mathrm{cm}^{1/2}\,\mathrm{g}^{1/2}]$ die Ladung, die an der Masse $m\,[\mathrm{g}]$ haftet, so ist für $H: \varepsilon/m = 9{,}654 \cdot 10^3\,[\mathrm{cm}^{1/2}\,\mathrm{g}^{1/2}/\mathrm{g}]$ pro Gramm. Für N-werthige Atome vom Atomgewichte A ist:

(1) $$\frac{\varepsilon}{m} = \frac{N}{A} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3\,[\mathrm{cm}^{1/2}\,\mathrm{g}^{1/2}:\mathrm{g}] \text{ pro g}$$

Diese Betrachtung soll nun auf die Vorgänge in Entladungsgefässen übertragen werden, und zwar wird hier der Factor der Geschwindigkeit, mit der die Atome begabt sind, eine viel grössere Rolle spielen, als im Gebiete der Elektrolyse, wo die Geschwindigkeiten der Ionen sehr klein sind. Nimmt man an, dass die Canal- und die Kathodenstrahlen aus fortgeschleuderten Partikelchen, etwa Atomen, die geladen sind, bestehen, und die sich geradlinig fortbewegen, ist n die pro sec fortgeschleuderte Anzahl derselben und trägt jedes die Elektricitätsmenge ε mit sich fort, so ist die pro sec fortgeführte Elektricitätsmenge:

(2) $$q = n \cdot \varepsilon\,[\mathrm{cm}^{1/2}\,\mathrm{g}^{1/2}],$$

woraus sich ergiebt

(3) $$n = \frac{q}{\varepsilon}[o].$$

Bewegen sich diese n Massentheilchen von der Masse m mit der Geschwindigkeit v geradlinig fort, so enthalten sie die

kinetische Energie: $n.m.v^2/2$. Würden diese Theilchen nun auf ein Hinderniss stossen, und würde der Stoss vollkommen unelastisch stattfinden, so würde diese kinetische Energie vollkommen in Wärme verwandelt werden; ihr Betrag sei a absolute mechanische Einheiten (1 cal. = $4{,}189 \cdot 10^7$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$]). Wir hätten dann die Formel

$$a = n \cdot \frac{m}{2} v^2 \,[cm^2\,g\,sec^{-2}]. \tag{4a}$$

Es ist aber jedenfalls ganz unzweifelhaft, dass beim Auftreffen dieser Theilchen auf einen festen Widerstand nur ein Theil dieser Energie in Wärme verwandelt wird, da in Folge elastischen Stosses viele Theilchen in den Gasraum zurückfliegen werden. Wir wollen diesen Umstand in der Formel (4a) dadurch ausdrücken, dass wir auf der linken Seite einen Factor α^2 hinzufügen, wo α durch die folgenden Versuche nur noch geeignet zu bestimmen sein wird. Dann nimmt unsere zuletzt hingeschriebene Formel die Gestalt an:

$$\alpha^2 \cdot a = n \cdot \frac{m}{2} v^2. \tag{4b}$$

Aus der Vereinigung der Gleichungen (3) und (4b) folgt:

$$\frac{q}{\varepsilon} \cdot \frac{m}{2} v^2 = \alpha^2 \cdot a = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{m}{\varepsilon} \cdot v^2. \tag{5}$$

Hr. W. Wien hat für Canalstrahlen bei einer Kathode aus Eisen für die geschleuderten Theilchen, die er annimmt, als Werth für ε/m pro g 312,5 [$cm^{1/2}\,g^{1/2}:g$] erhalten. Fasst man die fortgeschleuderten Theilchen als Eisenionen auf, so müsste sich unter Zugrundelegung von zweiwerthigen Eisenatomen ergeben haben:

$$\frac{\varepsilon}{m} = \frac{2}{55{,}9} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3 = 345 \left[\frac{cm^{1/2}\,g^{1/2}}{g}\right] prog.$$

Es findet sich hier eine Abweichung von 9,4 Proc., die aus dem Grunde wohl für unwesentlich gehalten werden darf, weil bei den Versuchen W. Wien's nur eine Gesammtablenkung von 6 mm beobachtet wurde, sodass eine Abweichung von 9,4 Proc. nur einem Ablesefehler von etwa $^1/_2$ mm entsprochen haben würde, und da ja auch die Canalstrahlen ebenso wie die Kathodenstrahlen aus verschieden ablenkbaren

Strahlen bestehen, somit eine scharfe Grenze zum Ablesen der Ablenkung von vornherein nicht erwartet werden darf.

Der Wien'sche Werth ist also vollständig mit der Annahme vereinbar, die wir hinfort machen wollen, dass die Canalstrahlen aus fortgeschleudertem Kathodenmaterial bestehen.

Apparate.

Als *Elektricitätsquelle* diente eine 40 plattige. sich selbst erregende Töpler'sche Influenzmaschine mit 20 beweglichen und 20 feststehenden Scheiben aus dem mechanischen Institute von Oskar Leuner in Dresden, und zwar eine Maschine der neueren Construction dieses Institutes. Die beweglichen Glasplatten derselben hatten einen Durchmesser von 30 cm; sie waren sämmtlich auf einer Axe befestigt und ebenso wie die feststehenden Scheiben mit keinem weiteren Isolationsmittel überzogen. Die ganze Maschine befand sich in einem durch Gummieinlagen abgedichteten Glaskasten, der durch sechs mit concentrirter Schwefelsäure gefüllte Bechergläser trocken gehalten wurde. In Folge dieser Anordnung war die Wirkung der Maschine von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft gänzlich unabhängig, was durch viele Versuche nachgewiesen wurde. Angetrieben wurde dieselbe vermittelst eines Vorgeleges durch einen kleinen Elektromotor, vor den ein Ballastwiderstand geschaltet war, um ihn mit der Lichtleitung des Institutes von einer Spannung von 65 Volt speisen zu können. Die beweglichen Scheiben der Maschine machten bei den folgenden Versuchen pro Secunde 8 Umdrehungen, eine Umdrehungsgeschwindigkeit, die in Folge der passend gewählten Antriebsmaschine sehr constant erhalten blieb. Die entwickelte Elektricitätsmenge betrug sowohl bei directem Kurzschluss der Maschine durch ein Galvanometer, als auch, wenn noch eine beliebig weit evacuirte Entladungsröhre eingeschaltet war, pro Secunde $3{,}1 \cdot 10^{-4}$ Coulomb. Die Abweichungen der verschiedenen beobachteten Werthe von diesem Mittelwerthe liegen innerhalb der zulässigen Grenze der Beobachtungsfehler. *Bei keinem der Versuche wurden Leydener Flaschen angewendet, und es wurden irgend welche Funkenstrecken mit grösster Sorgfalt vermieden.* Die Zahl der Entladungen, die die Ma-

schine in einer Secunde durch ein Entladungsrohr schickt, wurde mit Hülfe eines kleinen Geisslerröhrchens von der Form, wie in Fig. 1 angedeutet, mittels Drehspiegels gemessen. Das Geisslerröhrchen war 6 cm lang und bestand in der Mitte aus einem Capillarrohre von 2 cm Länge und 0,6 mm Weite. Zugeführt wurde die Elektricität durch zwei kurze, drahtförmige Elektroden aus Aluminium. Die Entladungszahl pro Secunde wurde zu etwa 60 000 bestimmt, wenn das Geisslerröhrchen und ein Canalstrahlenrohr vor die Elektricitätsquelle in Serie geschaltet waren. Wie gross die Entladungszahl war, wenn das Geisslerröhrchen fortgelassen wurde, konnte nicht bestimmt werden, da die Dimensionen des Entladungsrohres senkrecht zur Rohraxe für Beobachtungen mit dem Drehspiegel zu gross waren, und in Folge dessen die Helligkeit zu schwach war, um, wenn ein Schirm mit schmalem Spalt vor dem Rohre angebracht war, die räumlich nebeneinander geschichteten Spaltbilder als voneinander getrennte Linien deutlich erkennen und ihre Abstände messen zu können.

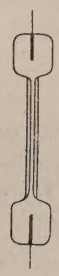

Fig. 1.

Zum Evacuiren der Entladungsgefässe wurde eine *Geissler-pumpe* mit zweifach durchbohrtem Hahn mit vorgelegter Wasserstrahlpumpe verwendet.

Die Geissler'sche Quecksilberpumpe war mit einem Quecksilbermanometer versehen, dessen Angaben bis etwa 20 mm Hg-Säule noch ziemlich verlässlich waren. Der im Entladungsrohre herrschende Druck wurde aus der Zahl der Evacuationen und der Kenntniss des Verhältnisses des Volumens der Luftpumpenkugel zum Volumen der übrigen mit dem Entladungsrohre communicirenden Theile der Pumpe berechnet, und es war so möglich, den in jedem Augenblicke herrschenden Druck in mm Hg und also auch in absolutem Maass, d. h in Dynen pro cm^2, anzugeben. Um eine Aichung auf Druck auszuführen, wurde mit der Wasserstrahlpumpe bis auf etwa 90 mm Hg vorgepumpt und erst dann die Quecksilberpumpe benutzt, indem jetzt an dem Manometer derselben vor und nach der ersten Evacuation die Drucke abgelesen wurden, die dann den folgenden Berechnungen zu Grunde gelegt werden konnten.

Um im Entladungsrohre von den eventuellen störenden Einflüssen des Hg-Dampfes der Luftpumpe frei zu werden, wurde gelegentlich vor dasselbe ein mit Blattgold gefülltes Rohr von 18 cm Länge und 14 mm Weite eingeschaltet. Die Oberfläche des Blattgoldes betrug ca. 760 cm^2 und die Blattdicke $8 . 10^{-5}$ mm. Immerhin waren noch die Hg-Linien im Spectralapparat scharf und verhältnissmässig lichtstark zu sehen, und daher wurde späterhin dieses Goldfilter weggelassen.

Die *Entladungsgefässe* wurden entsprechend den Zwecken, denen sie dienen sollten, in drei Formen verwendet.

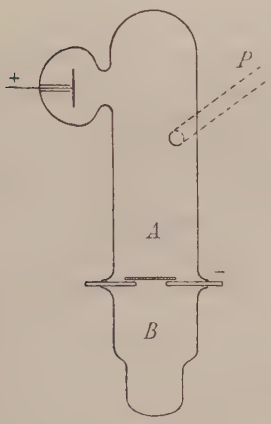

Fig. 2.

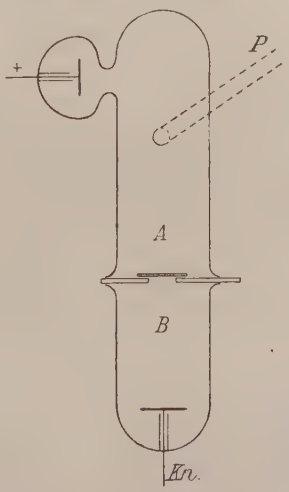

Fig. 3.

Fig. 2 giebt ein Canalstrahlenrohr in der Form wieder, wie es bei einigen Wärmemessungen angewendet wurde. Die Anode befindet sich hier in einer seitlich angeblasenen Kugel des Theiles *A* und besteht aus Aluminium. Ihr Durchmesser beträgt 14 mm. Die untere Verengung des Theiles *B* war so geformt, dass bei der Wärmemessung ein möglichst kleines Calorimeter verwendet werden konnte. Beide Theile, *A* und *B*, wurden mit Siegellack auf der jeweiligen Kathode festgekittet, die rings den umgelegten und abgeschliffenen Rand der Glasröhre um einige Millimeter überragte. Das Rohr *P* führte zur Luftpumpe. Die lichte Weite des Rohres *A*, sowie des oberen Theiles von *B* betrug 3 cm, die des unteren Theiles

2,2 cm. Eine durch die Mitte der Anode senkrecht zu dieser gelegt gedachte Axe schnitt die Axe des Rohres *A* in einem Abstande von 11 cm von der Kathode und hatte selbst eine Länge von 3,7 cm. Der Boden des Rohres *B* war 4,5 cm von der Kathode entfernt.

Eine zweite Form der Canalstrahlenröhren, wie sie besonders zum Messen von Elektricitätsmengen, aber auch für Energiemessungen benutzt wurde, ist in Fig. 3 veranschaulicht. Der Theil *A* war derselbe, wie in Fig. 2. In den Boden des Rohres *B* war eine Auffangelektrode (*Kn*) von 11 mm Durchmesser eingeschmolzen, die, wenn das Rohr ebenfalls mit Siegellack verkittet war, von der Kathode 4 cm entfernt war.

Zur gleichzeitigen Untersuchung der Kathoden- und Canalstrahlen wurde das Entladungsgefäss, Fig. 4, verwendet. In einer seitlich angeblasenen Kugel des Rohres *A* befindet sich die Anode (+), eine Aluminiumelektrode mit einem Durchmesser von 26 mm. Der Abstand einer auf der Anode errichteten Normalen von der Rohraxe von *A* beträgt 5 cm, der senkrechte Abstand der Anodenmitte von der Ebene der Kathode beträgt 3 cm. Bei *D* befindet sich ein Diaphragma aus Aluminiumblech mit einer Oeffnung in seiner Mitte von 9 mm Durchmesser, zu dem durch einen seitlich eingeschmolzenen Platindraht eine metallische Leitung von aussen hergestellt war. Dieses Diaphragma war 4,7 cm von der Kathode entfernt angebracht. Die Elektrode (*Kth*) hatte einen Durchmesser von 26 mm und ihr Abstand von der Kathode betrug 13 cm. Den Theil *B* des Entladungsgefässes bildete ein analoger Rohrtheil, wie er schon bei Fig. 3 beschrieben ist.

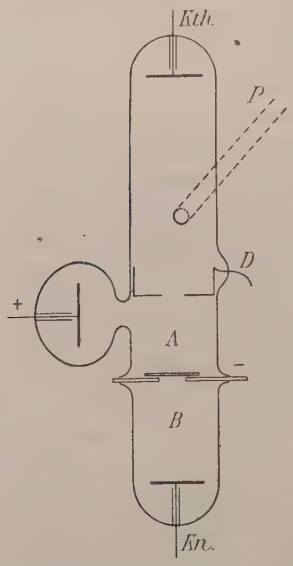

Fig. 4.

Die benutzten *Kathoden*, von der Form, wie in Fig. 5 wiedergegeben, bestanden aus einem 2 mm dicken Aluminiumbleche, in welchem in der Mitte eine Oeffnung von 18 mm

Durchmesser ausgedreht war. Nahe am Rande dieser Oeffnung waren einige Löcher gebohrt, um mittels derselben die jeweils in Gestalt feiner Drahtnetze benutzten Kathodenmateriale durch dünne Drähte befestigen zu können. Die Netze überragten den Rand der Aluminiumkathode rings um etwa 2 mm, sodass der Raum *A* (Fig. 2—4) nur durch die engen Maschen des Metallgewebes mit dem Raume *B* communicirte.

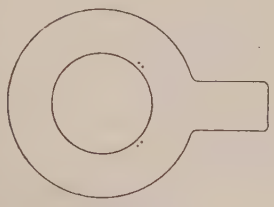

Fig. 5.

Es wurden die folgenden *Drahtgewebe* mit quadratischer Structur verwendet:

1. Ein Drahtgewebe aus Aluminium. Die Drähte desselben hatten einen Durchmesser von 0,25 mm und die Drahtaxen einen Abstand von 1 mm voneinander.

2. Ein Drahtgewebe aus Eisen. Die Drähte desselben hatten einen Durchmesser von 0,17 mm und die Drahtaxen einen Abstand von 0,83 mm voneinander.

3. Ein Drahtgewebe aus Platin. Die Drähte desselben hatten einen Durchmesser von 0,14 mm und die Drahtaxen einen Abstand von 0,67 mm voneinander.

Die *calorimetrischen Messungen* wurden mit zwei cylinderförmigen Calorimetern aus dünnem Messingblech ausgeführt. Als Calorimeterflüssigkeit diente immer Terpentinöl. Das benutzte Thermometer war in $^1/_5$ Grade getheilt, sodass noch etwa $^1/_{50}$ Grade ziemlich genau geschätzt werden konnten. Die Calorimeter repräsentirten einen Wasserwerth von 7,208, bez. 18,147.

Zum Messen der an die Auffangelektrode (Fig. 3) zugestrahlten Elektricitätsmenge wurde ein Wiedemann'sches *Galvanometer* verwendet, für welches eine mit Schellack vorzüglich isolirte Drahtrolle angefertigt wurde. Die Aichung ergab, dass ein Ausschlag von einem Scalentheile (= 2 mm) auf einer etwa 2 m vom Galvanometer entfernten Scala einem Strome von $1{,}7 \cdot 10^{-6}$ Ampères entsprach, oder einer pro Secunde abgeflossenen Elektricitätsmenge von $1{,}7 \cdot 10^{-6}$ Coulomb.

Die Potentialdifferenzen zwischen Anode und Kathode

wurden mittels eines Ebert-Hoffmann'schen[1]) *Plattenvoltmeters* bestimmt. Seine Aichung wurde mit Hülfe des Bichat-Blondlot'schen[2]) absoluten Cylinderelektrometers ausgeführt. Es zeigte sich, dass die Wurzelwerthe, die den Spannungen proportional sind, sehr nahe auf einer geraden Linie liegen.

Die Entladungen wurden in drei verschiedenen *Gasen* untersucht, und zwar wurden Wasserstoff, Stickstoff und Kohlensäure verwendet.

Der H_2 wurde elektrolytisch abgeschieden, mittels KOH von etwa mitgerissenen Säurepartikelchen befreit und durch H_2SO_4 und P_2O_5 getrocknet.

Der N_2 war durch Erwärmen einer concentrirten Lösung von $NaNO_2$ und NH_4Cl dargestellt; um ihn von etwa beigemengtem, unverbunden gebliebenen O_2 zu befreien, wurde er durch Pyrogallussäure in wässeriger Lösung geleitet und wie der H_2 getrocknet.

Die CO_2 wurde im Kipp'schen Apparate aus Marmor ($CaCO_3$) und HCl entwickelt, zur Reinigung durch Na_2CO_3 in wässeriger Lösung geleitet und schliesslich ebenfalls getrocknet.

Für die nachfolgenden Rechnungen bedürfen wir einer Reihe von Zahlenwerthen, die ich hier der Uebersichtlichkeit wegen zusammenstelle:

Umrechnung des Druckes von mm Hg auf absolutes Maass.

1 cm^3 Hg wiegt bei 20° 13,54 g; es entspricht also einer Hg-Säule von 1 mm Höhe und 1 cm^2 Grundfläche ein Druck von 1,354 g. Da nun 1 g = 981 Dynen ist, so stellt eine Hg-Säule von 1 mm Höhe bei 20° einen Druck von 1329 Dynen pro cm^2 dar.

Die molecularen Weglängen[3]) der benutzten Gase und der Querschnitt sämmtlicher Molecüle derselben im cm^3 in Beziehung zum Druck:

---

1) H. Ebert u. M. W. Hoffmann, Zeitschr. f. Instrumentenkunde **18.** p. 1. 1898.

2) Bichat-Bloudlot, Compt. rend. **102.** p. 753—756. 1886.

3) Sämmtliche Zahlenwerthe, die sich auf das Gebiet der molecularen Physik beziehen, wurden den physikalisch-chemischen Tabellen von Landolt-Börnstein entnommen und im besonderen die Angaben von O. E. Meyer den Berechnungen zu Grunde gelegt.

I. Die moleculare Weglänge

a) des H_2 beträgt bei 760 mm Hg: $1855 . 10^{-8}$ cm. Da dieselbe von der Temperatur nahezu unabhängig, dagegen der Dichtigkeit des Gases umgekehrt proportional ist, so ist sie auch dem Drucke umgekehrt proportional. Es ergiebt sich also für H_2 bei einem Drucke von 1 mm Hg-Säule die moleculare Weglänge: $1{,}41 . 10^{-2}$ cm.

b) des N_2 beträgt bei 760 mm Hg: $986 . 10^{-8}$ cm, also bei 1 mm Hg: $7{,}5 . 10^{-3}$ cm.

c) der CO_2 beträgt bei 760 mm Hg: $680 . 10^{-8}$ cm, demnach bei 1 mm Hg: $5{,}16 . 10^{-3}$ cm.

II. Der Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 beträgt:

a) für H_2 bei 760 mm Hg: 9500 cm^2. Derselbe ist dem Drucke direct proportional. Es ist demnach der Querschnitt sämmtlicher H_2-Molecüle im cm^3 bei 1 mm Hg: 12,5 cm^2.

b) für N_2 bei 760 mm Hg: 17 900 cm^2, somit bei 1 mm Hg: 23,6 cm^2.

c) für CO_2 bei 760 mm Hg: 26 000 cm^2, daher bei 1 mm Hg: 34,2 cm^2.

Das Gewicht eines Atoms Wasserstoff[1]) ist $8{,}3 . 10^{-25}$ g. Das Gewicht eines Atoms eines Elementes vom Atomgewicht A beträgt: $A . 8{,}3 . 10^{-25}$ g.

An einem einwerthigen Atom sitzt eine Elektricitätsmenge: $8{,}0 . 10^{-21}$ [$cm^{1/2}$ $g^{1/2}$]. An einem n-werthigen Atom sitzt daher die Elektricitätsmenge: $n . 8{,}0 . 10^{-21}$ [$cm^{1/2} g^{1/2}$].

I. Versuche mit Canalstrahlen.

a) Messungen von Elektricitätsmengen.

Wurde die Kathode der Entladungsröhre (Fig. 3) zur Erde abgeleitet, so trat nichtsdestoweniger in dem die Anode nicht enthaltenden Theil B der Röhre Elektricität positiven Zeichens von dem Momente an über, wo das Auftreten von Canalstrahlen bemerkbar wurde. Beim Gang der Maschine wurde bei Kn ein continuirlicher Zufluss von positiver Elektricität constatirt, welcher einen am Galvanometer leicht zu messenden und in

[1]) Vgl. W. Nernst, Theoretische Chemie 2. Auflage. p. 394. 1898.

Coulomb pro Secunde auszurechnenden Strom lieferte. Dieses bestätigt zunächst die von Hrn. W. Wien zuerst gemachte Entdeckung, dass in der That in den Canalstrahlen Partikelchen, die mit freier positiver Ladung begabt sind, transportirt werden.

Es zeigte sich nun aber weiter die sehr bemerkenswerthe Thatsache, dass sowohl der Moment des Auftretens dieser Erscheinung, als auch der gesammte Verlauf von der Natur der Gasfüllung abhängt. Um dieses näher zu erläutern erlaube ich mir, für eine Reihe von Fällen die entsprechenden Messungsresultate in extenso mitzutheilen.

Um sicher zu sein, dass auch wirklich nur das verlangte Gas im Entladungsgefässe vorhanden war, wurde letzteres sorgfältigst mit dem Gase etwa $^1/_4$ Stunde lang ausgespült, darauf wurden Entladungen durch das Rohr gesendet und nachdem das Rohr noch einige Male mit dem betreffenden Gase gefüllt, wiederum evacuirt und Entladungen hindurchgesendet waren, wurden die Messungen begonnen.

Wie Hr. Goldstein schon beobachtet hat, gehen die Canalstrahlen anfänglich von der ganzen durchbrochenen Kathodenfläche aus; mit abnehmendem Drucke entfernen sie sich dagegen beständig vom Rande der Kathode (Fig. 5), und das Canalstrahlenbündel zieht sich immer mehr nach der Axe des Rohres zusammen.

I. Versuche mit der Aluminiumkathode in H_2.

In der folgenden Tabelle sind vier Versuchsreihen zusammengestellt:

Versuche	1		2		3		4	
	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec
p_0	89,7		89,6		90,0		89,7	
p_5	0,39	0	0,39	0	0,392	0	0,39	0
$p_5^{2/7}$	0,249	$9{,}5 \cdot 10^{-7}$	0,249	$9{,}5 \cdot 10^{-7}$	0,250	$9{,}5 \cdot 10^{-7}$	0,249	$1.3 \cdot 10^{-}$
p_6	0,131	$1{,}71 \cdot 10^{-5}$	0,131	$1{,}71 \cdot 10^{-5}$	0,132	$1{,}71 \cdot 10^{-5}$	0,131	$1{,}71 \cdot 10^{-}$
p_7	—	—	0,044	$5{,}5 \cdot 10^{-5}$	—	—	0,044	$5{,}5 \cdot 10^{-}$
p_8	—	—	0,0148	$7{,}6 \cdot 10^{-5}$	—	—	0,0148	$7{,}3 \cdot 10^{-}$
p_9	—	—	0,00498	$9{,}1 \cdot 10^{-5}$	—	—	0,00498	$9{,}1 \cdot 10^{-}$
p_{10}	—	—	0,00168	$9{,}5 \cdot 10^{-5}$	—	—	0,00168	$9{,}5 \cdot 10^{-}$

Sämmtliche Werthe stimmen fast vollkommen mit einander überein. Nimmt man noch das Mittel aus den kleinen Abweichungen bei den Drucken $p_5^{2/7}$ und p_8, so ergeben sich die folgenden zusammengehörigen Werthe:

Druck in mm Hg	0,39	0,249	0,131	0,044	0,0148	etc.
Coul. pro sec	0	$1{,}04 \cdot 10^{-6}$	$1{,}71 \cdot 10^{-5}$	$5{,}5 \cdot 10^{-5}$	$7{,}5 \cdot 10^{-5}$	

Diese Werthe wurden graphisch in der Tafel Fig. 1 am Schlusse der Arbeit aufgetragen, indem auf der Abscissenaxe die einzelnen Evacuationen, bei denen die Drucke zugeschrieben sind, durch äquidistante Strecken dargestellt wurden. Als Ordinaten wurden dann die zugehörigen, pro Secunde fortgeleiteten Coulomb eingetragen. Es lässt sich nun mit grosser Sicherheit eine wahrscheinliche Curve durch die Endpunkte der Ordinaten legen, mittels derer das Eintreten der Canalstrahlen bei einem Drucke von 0,26 mm Hg extrapolirt werden konnte (wobei natürlich dem Umstande Rechnung getragen wurde, dass in der Figur äquidistante Abscissenpunkte einer Druckabnahme nach einer geometrischen Reihe entsprechen). Also ist bei der hier verwendeten Elektrode bei einer H_2-Füllung das Auftreten der Canalstrahlen bei einem Drucke von 0,26 mm Hg = 345 Dynen pro cm² zu suchen. Natürlich ist dieser Werth auf einen Abstand der Auffangelektrode *Kn* von der Kathode, der 4 cm beträgt, bezogen; es würden sich ohne Zweifel für einen anderen Abstand andere Werthe ergeben haben, da ja nach der Angabe des Hrn. Goldstein die Canalstrahlen sich erst mit wachsender Gasverdünnung stetig verlängern, also nicht schon bei ihrem ersten Eintreten bis an die Auffangelektrode *Kn* gelangt sein können.

Bei einem Drucke von 0,26 mm Hg ergiebt sich für H_2 die moleculare Weglänge 0,542 mm.

Ferner ist für H_2 bei einem Drucke von 0,26 mm Hg der Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm³: 3,25 cm². Es haben also im vorliegenden Falle die Canalstrahlen auf ihrem 4 cm langen Wege pro cm² Erzeugungsfläche einen Gesammtquerschnitt der H_2-Molecüle von 13 cm² passiren müssen.

II. Versuche mit der Aluminiumkathode in N_2.

Es haben sich die folgenden Werthe ergeben:

Versuche	1		2		3	
	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec
p_0	89,6		89,5		89,6	
p_5	0,39	0	0,39	0	0,39	0
p_6	0,131	$2{,}1 \cdot 10^{-6}$	0,131	$2{,}29 \cdot 10^{-6}$	0,131	$2{,}1 \cdot 10^{-6}$
p_7	0,044	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$	0,044	$3{,}1 \cdot 10^{-5}$	0,044	$3{,}05 \cdot 10^{-5}$
p_8	0,0148	$7{,}6 \cdot 10^{-5}$	0,0148	$7{,}5 \cdot 10^{-5}$		
p_9	—	—	0,00497	$8{,}9 \cdot 10^{-5}$		
p_{10}	—	—	0,00168	$9{,}5 \cdot 10^{-5}$		

Aus dieser Tabelle ergeben sich die folgenden Mittelwerthe:

Druck in mm Hg	0,39	0,131	0.044	0,0148	0,00497	etc.
Coul. pro sec	0	$2{,}16 \cdot 10^{-6}$	$3{,}05 \cdot 10^{-5}$	$7{,}55 \cdot 10^{-5}$	$8{,}9 \cdot 10^{-5}$	

Diese Werthe wurden in der Tafel Fig. 2 aufgetragen, aus der sich durch Extrapolation für das Eintreten der Canalstrahlen der Werth 0,140 mm Hg ergiebt.

Die moleculare Weglänge des N_2 beträgt bei 0,14 mm Hg: 0,535 mm.

Der Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 beträgt für N_2 bei 0,14 mm Hg: 3,3 cm^2.

Beachtet man wiederum, dass die Canalstrahlen einen 4 cm langen Weg zurücklegen mussten, so ergiebt sich in diesem Falle, dass die Canalstrahlen pro cm^2 Erzeugungsfläche so viele N_2-Molecüle passirt haben, dass deren Gesammtquerschnitt 13,2 cm^2 beträgt.

III. Versuche mit der Aluminiumkathode in CO_2.

Es haben sich bei drei Versuchsreihen die folgenden Resultate ergeben (vgl. die Tabelle p. 19).

Zieht man das Mittel aus diesen Beobachtungen, so erhält man die folgenden sich entsprechenden Werthe:

Druck in mm Hg	0,131	0,0842	0,044	0,0149	0,00499	etc.
Coul. pro sec	0	$4{,}2 \cdot 10^{-6}$	$2{,}03 \cdot 10^{-5}$	$5{,}8 \cdot 10^{-5}$	$8{,}2 \cdot 10^{-5}$	

Diese Werthe wurden wiederum am Schlusse der Arbeit auf der Tafel Fig. 3 graphisch aufgetragen, wo die Abscissen und Ordinaten dieselbe Bedeutung wie in I a haben.

Versuche	1		2		3	
	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec
p_0	90		89,8		89,5	
p_6	0,132	0	0,131	0	0,131	0
$p_6^{2}/_{7}$	0,0845	$4{,}7 \cdot 10^{-6}$	0,084	$3{,}8 \cdot 10^{-6}$	0,084	$4{,}2 \cdot 10^{-6}$
p_7	0,044	$2{,}09 \cdot 10^{-5}$	0,044	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	0,044	$2{,}09 \cdot 10^{-5}$
p_8	0,0149	$5{,}5 \cdot 10^{-5}$	0,0149	$5{,}7 \cdot 10^{-5}$	0,0148	$6{,}1 \cdot 10^{-5}$
p_9	0,005	$7{,}6 \cdot 10^{-5}$	0,00499	$8{,}3 \cdot 10^{-5}$	0,00497	$8{,}7 \cdot 10^{-5}$
p_{10}	0,00169	$9{,}1 \cdot 10^{-5}$	0,00169	$9{,}1 \cdot 10^{-5}$	0,00168	$9{,}6 \cdot 10^{-5}$
p_{11}	0,00057	$9{,}5 \cdot 10^{-5}$	0,00057	$9{,}5 \cdot 10^{-5}$	0,00057	$9{,}8 \cdot 10^{-5}$

Extrapolirt man den Werth, wo die entstandene Curve die Abscissenaxe schneidet, so kommt man in diesem Falle auf den Werth 0,095, d. h. bei einem Drucke von 0,095 mm Hg erreichen die Canalstrahlen gerade die Auffangelektrode *Kn*, falls das Rohr mit CO_2 gefüllt ist.

Die moleculare Weglänge der CO_2 beträgt bei diesem Drucke 0,544 mm.

Ausserdem ergiebt sich bei diesem Drucke als Querschnitt sämmtlicher CO_2-Molecle im cm^3 der Werth: 3,25 cm^2. Es folgt also für den 4 cm langen Weg von der Kathode zur Elektrode *Kn* derselbe Werth, wie bei einer Füllung mit H_2, nämlich 13 cm^2 für einen Cylinder von 1 cm^2 Grundfläche und 4 cm Höhe.

Die auf diese Weise gewonnenen Resultate sollen in folgender Tabelle zur besseren Uebersicht noch einmal zusammengestellt werden.

Die Kathode bestand aus Aluminium.

Gasfüllung	H_2	N_2	CO_2
Druck p, bei dem die Canalstrahlen einsetzen in mm Hg	0,26	0,14	0,095
Moleculare Weglänge in mm beim Drucke p	0,542	0,535	0,544
Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 in cm^2 beim Drucke p	3,25	3,30	3,25

Man ersieht sofort, dass das Eintreten der Canalstrahlen von der molecularen Weglänge des Gases, mit dem das Rohr gefüllt wurde, also auch vom Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 abhängig ist, und zwar erkennt man, dass bei Gasen die Canal-

strahlen auftreten bei um so höheren Drucken, je grösser die freie Weglänge ist, sodass also überhaupt Canalstrahlen von bestimmter Länge erst dann erzeugt werden, wenn die mittlere freie Weglänge der verschiedenen Gasfüllungen beim Evacuiren dieselbe geworden ist.

Als Mittelwerth für die moleculare Weglänge ergeben sich 0,540 mm, von dem die beobachteten Werthe nur um höchstens 0,9 Proc. abweichen.

Der Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 ist im Mittel 3,27 cm^2, von dem die beobachteten Werthe ebenfalls nur um höchstens 0,9 Proc. abweichen.

Eine weitere Aufgabe bestand nun darin, zu untersuchen, ob das Kathodenmaterial einen Einfluss auf das Eintreten der Canalstrahlen ausübt. Zu diesem Zwecke verwendete ich die Kathode in der Form, dass auf dem Aluminiumträger statt des Aluminiumnetzes das p. 13 erwähnte Drahtnetz aus Eisen befestigt wurde. Ich hielt mich hierzu aus dem Grunde berechtigt, weil die Canalstrahlen ja nur von den Oeffnungen der Kathode ausgehen, also jedenfalls unbeeinflusst bleiben von den entfernt sich befindenden undurchbrochenen Kathodentheilen aus Aluminium (vgl. oben p. 13).

I. Versuche mit der Eisenkathode in H_2.

Versuche	1		2		3	
	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec
p_0	92	—	92	—	92	—
p_5	0,393	0	0,393	0	0,393	0
$p_5^2/_7$	0,251	$1{,}0.10^{-6}$	0,251	$1{,}1.10^{-6}$	0,251	$9{,}0.10^{-7}$
p_6	0,132	$9{,}0.10^{-6}$	0,132	$1{,}0.10^{-5}$	0,132	$1{,}0.10^{-5}$
p_7	0,0443	$5{,}3.10^{-5}$				
p_8	0,0149	$8{,}4.10^{-5}$				
p_9	0,00502	$9{,}5.10^{-5}$				

Fasst man diese drei Beobachtungsreihen wieder zu einer zusammen, so ergiebt sich:

Druck in mm H_g	0,393	0,251	0,132	0,0443	0,0149	0,00502
Coul. pro sec	0	$1{,}0.10^{-6}$	$9{,}7.10^{-6}$	$5{,}3.10^{-5}$	$8{,}4.10^{-5}$	$9{,}5.10^{-5}$.

Die Tafel Fig. 4 stellt diese Werthe graphisch aufgetragen dar. Durch Extrapolation ergiebt sich als Druck, bei dem die

Canalstrahlen einsetzen, wieder etwa der Werth 0,261 mm, also derselbe Druck, wie bei der Aluminiumkathode.

II. Versuche mit der Eisenkathode in N_2.

Versuche	1		2		3	
	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec	Druck mm	Coul. pro sec
p_0	92,9	—	92,9	—	92,9	—
p_5	0,396	0	0,396	0	0,396	0
p_6	0,133	$2{,}0.10^{-6}$	0,133	$2{,}0.10^{-6}$	0,133	$1{,}5.10^{-6}$
p_7	0,0447	$1{,}7.10^{-5}$	0,0447	$2{,}7.10^{-5}$	0,0447	$1{,}7.10^{-5}$
p_8	0,015	$4{,}0.10^{-5}$	0,015	$6{,}6.10^{-5}$	0,015	$5{,}0.10^{-5}$
p_9	0,00503	$6{,}5.10^{-5}$	0,00503	$8{,}5.10^{-5}$	0,00503	$7{,}6.10^{-5}$
p_{10}	0,00169	$8{,}8.10^{-5}$	0,00169	$9{,}5.10^{-5}$	0,00169	$9{,}8.10^{-5}$

Hieraus ergeben sich die folgenden Mittelwerthe:

Druck in mm Hg 0,396 0,133 0,0447 0,015 0,00503 0,00169
Coul. pro sec 0 $1{,}8.10^{-6}$ $2{,}0.10^{-5}$ $5{,}2.10^{-5}$ $7{,}5.10^{-5}$ $9{,}35.10^{-5}$,

die in der Tafel Fig. 5 aufgetragen wurden.

Durch Extrapolation ergiebt sich der Werth 0,140; es treten also in N_2 bei einer Eisenkathode die Canalstrahlen bei demselben Drucke ein, wie bei einer Aluminiumkathode.

III. Versuche mit der Eisenkathode in CO_2.

Es ergaben sich die folgenden zusammengehörigen Werthe:

Druck in mm Hg 0,132 0,0845 0,0443 0,0149 0,005 0,00169
Coul. pro sec 0 $2{,}0.10^{-6}$ $1{,}0.10^{-5}$ $4{,}4.10^{-5}$ $8{,}0.10^{-5}$ $9{,}3.10^{-5}$,

die in der Tafel Fig. 6 aufgetragen sind.

Als Druck, bei dem die Canalstrahlen in diesem Falle eintreten, wurde 0,093 mm Hg extrapolirt, ein Werth, der mit dem bei einer Aluminiumkathode gefundenen Drucke in gutem Einklang steht.

Aus diesen Versuchen folgt also, dass das Auftreten und die Entwickelung von Canalstrahlen, was ihre Abhängigkeit vom Druck betrifft, nicht von dem Kathodenmateriale abhängt, sondern von den molecularen Eigenschaften der Gasfüllung bedingt ist. Das schliesst natürlich nicht aus, dass es Metallionen sind, die fortgeschleudert werden, im ersten Falle also Aluminium-, im zweiten Eisenionen; denn die gewonnenen Zahlen (0,095 mm Hg für CO_2, 0,14 mm Hg für N_2, 0,26 mm Hg für H_2) geben die

Druckwerthe an, bei denen die schleudernden Kräfte bei den hier verwendeten Spannungsdifferenzen im Stande sind, die Ionen des Elektrodenmateriales von der Netzkathode bis zur Auffangelektrode, d. h. um dieselbe Strecke von 4 cm, durch das Gas hindurchzuschleudern.

Da die Atomgewichte von Fe = 56 und Al = 27 nicht allzusehr voneinander verschieden sind, so war es von Wichtigkeit, noch ein Elektrodenmaterial mit wesentlich höherem Atomgewicht hinzuzuziehen. Ich benutzte dazu Pt = 194.

Ein Drahtnetz aus Platin von den p. 13 angegebenen Dimensionen wurde in gleicher Weise wie die Drahtnetze aus Aluminium und Eisen auf der Aluminiumkathode befestigt.

I. Versuche mit der Platinkathode in H_2.

Druck in mm Hg	0,396	0,254	0,133	0,0446	0,0150
Coul. pro sec	0	4.10^{-6}	$7,4\ 10^{-5}$	$1,8.10^{-4}$	$2,0.10^{-4}$.

Extrapolirt man in Tafel Fig. 7 den Punkt, in dem die Curve die Abscissenaxe schneidet, so kommt man auf den Werth 0,262, es treten also auch bei einer Platinkathode in H_2 die Canalstrahlen bei einem Drucke von 0,262 mm Hg auf.

II. Versuche mit der Platinkathode in N_2.

Druck in mm Hg	0,384	0,137	0,129	0,0432	0,0145
Coul. pro sec	0	4.10^{-6}	$9,0.10^{-6}$	$1,08.10^{-4}$	$1,96.10^{-4}$.

Durch Extrapolation findet man aus den in der Tafel Fig. 8 aufgetragenen Werthen als Druck für das Eintreten der Canalstrahlen 0,142 mm Hg.

III. Versuche mit der Platinkathode in CO_2.

Druck in mm Hg	0,129	0,0779	0,0432	0,0145	0,00485
Coul. pro sec	0	1.10^{-5}	$4,1.10^{-5}$	$1,3.10^{-4}$	$2,2.10^{-4}$.

Tafel Fig. 9 giebt diese Werthe graphisch wieder, und es extrapolirt sich für das Eintreten der Canalstrahlen der Druck von 0,095 mm Hg.

Stellen wir die gewonnenen Resultate noch einmal für die verschiedenen Metalle zusammen, so ergiebt sich die folgende Tabelle:

Kathode	Al			Fe			Pt		
Gasfüllung	H_2	N_2	CO_2	H_2	N_2	CO_2	H_2	N_2	CO_2
Druck, bei dem die Canalstrahlen einsetzen in mm Hg.	0,26	0,14	0,095	0,261	0,14	0,093	0,262	0,142	0,095

Mittelwerthe

Gasfüllung	H_2	N_2	CO_2
Druck in mm Hg	0,261	0,141	0,094
Druck in Dynen pro cm^2	347	187	125
Moleculare Weglänge in mm	0,540	0,533	0,549
Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 in cm^2	3,26	3,23	3,22

Hieraus ergeben sich schliesslich die folgenden Mittelwerthe:

Moleculare Weglänge in mm	0,541	für das Eintreten der Canalstrahlen, unabhängig vom Kathodenmateriale für beliebige Gase.
Querschnitt sämmtlicher Molecüle im cm^3 in cm^2	3,24	

Hieraus folgt:

Das Auftreffen der Canalstrahlen auf die Auffangelektrode Kn bei abnehmenden Drucken ist unabhängig von dem Materiale, aus dem die Kathode besteht. Bei den Dimensionen des verwendeten Rohres und einem Abstande der Auffangelektrode *Kn* von der Kathode von 4 cm erreichen die Canalstrahlen dieselbe bei einem Drucke von

0,261 mm Hg / 347 Dynen pro cm^2 } für H_2; 0,141 mm Hg / 187 Dynen pro cm^2 } für N_2;

0,094 mm Hg / 125 Dynen pro cm^2 } für CO^2.

Es sind dann nämlich die molecularen Weglängen der betreffenden Gase einander gleich geworden und betragen im Mittel 0,541 mm, indem die extremsten Werthe nur um 1,5 Proc. von demselben abweichen.

Interessant war auch noch ein Gasgemisch zu prüfen; als solches wurde Luft verwendet. Dieselbe gab sehr genau dieselben Resultate wie N_2, was insofern zu erwarten war, als ja die bisherigen Beobachtungen zeigen, dass die Entwickelung der Canalstrahlen mit der molecularen Weglänge, bez. mit der Querschnittsumme der Gasmolekeln zusammenhängt. Diese Grösse ist ja in der That bei Luft fast die gleiche wie bei N_2.

Führt man noch mit Rücksicht auf die Beobachtungen den Querschnitt sämmtlicher Molekeln in 4 cm^3 ein, so mussten die Canalstrahlen, bevor sie zur Auffangelektrode *Kn* gelangen konnten, von 1 cm^2 Kathodenfläche ausgehend so viele Gasmolekeln passiren, dass dieselben, wenn man sie in eine Ebene ausbreiten könnte, eine Fläche von 12,96 cm^2 bedecken würden.

b) Energiemessungen.

Wir gehen jetzt zu den Messungen der durch das Auftreffen der Canalstrahlen erzeugten Wärme[1]) über, welche uns ja nach den Ausführungen auf p. 8 die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Theilchen berechnen lassen, wenn wir voraussetzen, dass es Ionen des Elektrodenmateriales mit ihren Valenzladungen sind, welche fortgeschleudert werden. Gleichzeitig wurden die Spannungen gemessen, weil ja die Ablenkungsversuche der Herren Kaufmann, W. Wien u. a. gezeigt haben, dass die Geschwindigkeit von dem Potentialgefälle an der Kathode in erster Linie bestimmt ist.

Die Spannung wurde an der Anode des Canalstrahlenrohres gemessen, und die Kathode war auch hier stets zur Erde abgeleitet. Zunächst wurden mehrere Wärmemessungen mit der Aluminiumkathode vorgenommen, und zwar wurde immer die Energiemenge bestimmt, die während 5 Min. von den Canalstrahlen an den 4 cm von der Kathode entfernt sich befindenden Boden des Glasrohres (Fig. 2) abgegeben, d. h. hier in Wärme umgesetzt wurde.

Versuche mit der Aluminiumkathode.

Versuch I.

Die Spannung an der Anode betrug 3580 Volt. Da die Stromstärke des primären Kreises $3{,}1 \cdot 10^{-4}$ Amp. betrug, so

1) Vgl. auch Arnold, Wied. Ann. **61.** p. 325 ff. 1897.

wurde dem Canalstrahlenrohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 3580 = 1{,}11$ Watt oder von $1{,}11 \cdot 10^{7}$ [cm^2 g sec^{-2}] zugeführt. Es ergab sich im vorliegenden Falle mit Berücksichtigung der Strahlung eine Temperaturerhöhung von $1{,}19^0$ in 5 Min., und da der Wasserwerth des Calorimeters 7,208 betrug, eine abgegebene Wärmemenge von 8,57 cal. pro 5 Min., das sind 0,0288 sec g cal. oder in absolutem Maasse $1{,}205 \cdot 10^{6}$ [cm^2 gr sec^{-2}] pro Secunde, also 11 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Versuch II.

Die Spannung an der Anode betrug 3450 Volt, es wurde also dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 3450 = 1{,}07 \cdot 10^{7}$ [cm^2-gr-sec^{-2}] zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von $1{,}18^0$ pro 5 Min., es ergab sich also eine Wärmemenge von 8,5 cal. pro 5 Min., das sind $1{,}19 \cdot 10^{6}$ [cm^2-gr-sec^{-2}] pro Secunde, also 11,1 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Versuch III.

Die Spannung an der Anode betrug 3350 Volt, es wurde also dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 3350 = 1{,}04 \cdot 10^{7}$ [cm^2-gr-sec^{-2}] zugeführt. Die Temperaturerhöhung des Calorimeters betrug $1{,}17^0$ pro 5 Min., also ergab sich eine Wärmemenge von 8,44 cal. pro 5 Min., das sind $1{,}175 \cdot 10^{6}$ [cm^2-gr-sec^{-2}] pro Secunde, mithin 11,3 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Während dieser drei Messungen herrschte in dem Entladungsgefässe ein mittlerer Druck von 0,0078 mm Hg, es repräsentirten also, da die Messungen in N_2 ausgeführt wurden, die Canalstrahlen einen Strom von der Stärke $8{,}7 \cdot 10^{-5}$ Amp. (vgl. Tafel, Fig. 2).

Bemerkenswerth ist, dass, wiewohl nicht ausgepumpt wurde, doch durch den Gebrauch des Rohres einerseits die Spannung, andererseits aber auch sowohl die im Ganzen consumirte Wattzahl, als auch die durch die Canalstrahlen überführte Energie bei den aufeinander folgenden Versuchen immer um einen geringen Betrag abnahm.

Versuch IV.

Die Spannung an der Anode betrug 4600 Volt, es wurde dem Rohre also pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4600$

$= 1{,}43 \cdot 10^7$ [cm²-gr-sec^{-2}] zugeführt. Die Temperaturerhöhung pro 5 Min. betrug 1,59°, sodass an das Calorimeter eine Wärmemenge von 11,45 cal. pro 5 Min. abgegeben wurde, das sind $1{,}6 \cdot 10^6$ [cm²-gr-sec^{-2}] pro Secunde, also 11,2 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Versuch V.

Die Spannung an der Anode betrug 4100 Volt, sodass dem Canalstrahlenrohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4100 = 1{,}27 \cdot 10^7$ [cm²-gr-sec^{-2}] zugeführt wurde. Es wurde während 5 Min. eine Temperaturerhöhung von 1,43° beobachtet, entsprechend einer Wärmeaufnahme von 10,3 cal. pro 5 Min., das sind $1{,}44 \cdot 10^6$ [cm²-gr-sec^{-2}] pro Secunde, also 11,3 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Während der beiden letzten Beobachtungen herrschte in dem Canalstrahlenrohre ein mittlerer Druck von 0,0024 mm Hg; es ergiebt sich also aus Tafel, Fig. 2 als zugehörige Stromstärke der Canalstrahlen $9{,}37 \cdot 10^{-5}$ Amp.

Das Bild über den Energieumsatz in dem Canalstrahlenrohre, welches diese fünf Versuche gewähren, wird am anschaulichsten durch die folgende Tabelle gegeben, in welcher zugleich in Procenten der gesammten zugeführten Energie die durch die Canalstrahlen übergeführte Energie angegeben ist:

Versuche		1	2	3	4	5
Mittlerer Druck		0,0078 mm Hg entspr. 10,3 Dynen pro cm²			0,0024 mm Hg entspr. 3,2 Dynen pro cm²	
Primär	Spannung in Volt	3580	3450	3330	4600	4100
	Stromstärke in Amp.	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$
	Volt . Amp. = Watt	1,11	1,07	1,04	1,43	1,27
	= [cm² g sec^{-3}]	$1{,}11 \cdot 10^7$	$1{,}07 \cdot 10^7$	$1{,}04 \cdot 10^7$	$1{,}43 \cdot 10^7$	$1{,}27 \cdot 10^7$
Als Wärme abgegebene Energie pro Secunnde [cm² g sec^{-2}]		$1{,}205 \cdot 10^6$	$1{,}19 \cdot 10^6$	$1{,}175 \cdot 10^6$	$1{,}6 \cdot 10^6$	$1{,}44 \cdot 10^6$
$\frac{\text{Abgegebene Wärme}}{\text{Zugeführte Watt}}$ [cm² g sec^{-3}]		10,9 Proc.	11,1 Proc.	11,3 Proc.	11,2 Proc.	11,3 Proc.

Es folgt somit, dass als Mittel aus diesen fünf Versuchen von der dem Rohre zugeführten Energie *mindestens* 11,15 Proc. für die Ausbildung der Canalstrahlen verwendet werden, die

diese sodann beim Auftreffen auf die Glaswand als Wärme wieder abgeben.

Sieht man nun die Canalstrahlen als geschleuderte, positiv geladene Ionen des Aluminiums an, so kann man mit dem nunmehr zu Gebote stehenden Beobachtungsmateriale die Geschwindigkeit der Aluminiumatome berechnen.

Al besitzt das Atomgewicht = 27. Nimmt man das Aluminiumatom als dreiwerthig an, so bekommt man als Werth für ε/m: 1070 [$cm^{1/2} g^{1/2}/g$] pro Gramm. Nach Formel (5) ergiebt sich für v, d. i. die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Aluminiumatome:

(6) $$v = \alpha \cdot \sqrt{\frac{2a}{q} \cdot \frac{\varepsilon}{m}}.$$

Es ergeben sich somit die folgenden fünf mittleren Geschwindigkeiten:

$v_1 = \alpha \cdot 1{,}73 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}] bei 3580 Volt Spannung,
$v_2 = \alpha \cdot 1{,}72 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}] bei 3450 Volt Spannung,
$v_3 = \alpha \cdot 1{,}71 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}] bei 3330 Volt Spannung,
$v_4 = \alpha \cdot 1{,}91 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}] bei 4600 Volt Spannung,
$v_5 = \alpha \cdot 1{,}81 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}] bei 4100 Volt Spannung.

Die Geschwindigkeit, mit der die Atome durch die Kathode hindurchgeschleudert werden, nimmt also mit der Spannung zu. Es würde sich etwa bei einer Spannung der Anode von 5000 Volt, die vom Drucke abhängig ist, im Mittel eine Geschwindigkeit der Aluminiumatome von $\alpha \cdot 2 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}] ergeben.

Bei den nun folgenden Versuchen mit der Eisen- und der Platinkathode wurde das Canalstrahlenrohr so benutzt, wie es bei den Elektricitätsmengenmessungen gebraucht wurde; es wurde also das die Auffangelektrode *Kn* enthaltende Rohr (Fig. 3) angekittet gelassen und bei der Wärmemessung entsprechend berücksichtigt. Infolge dessen musste auch das p. 13 genannte zweite Calorimeter mit einem Wasserwerthe 18,147 verwendet werden.

Versuche mit der Eisenkathode.

Versuche I.

Die Spannung an der Anode betrug 5200 Volt, es wurde dem Rohre also pro Secunde eine Energie von $5200 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-4} =$

$1{,}61 \cdot 10^7$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] zugeführt. Die Temperaturerhöhung pro 5 Minuten betrug 0,66°, sodass dem Calorimeter eine Wärmemenge von 11,98 cal. pro 5 Minuten. zugeführt war, das sind $1{,}67 \cdot 10^6$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] pro Secunde, also 10,3 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Es wurden noch drei Messungen bei demselben Druck und derselben Spannung gemacht und eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von 0,65°, 0,66°, 0,65° beobachtet, sodass sich als Mittelwerth dieser vier Versuche eine secundlich zugeführte Energiemenge von $1{,}66 \cdot 10^6$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] ergeben hat.

Hierbei repräsentirten die Canalstrahlen einen Strom von $8{,}0 \cdot 10^{-5}$ Amp., wie die directen Beobachtungen ergeben haben.

Versuch II.

Die Spannung an der Anode betrug 5880 Volt, es wurde also pro Secunde dem Rohre eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5880 = 1{,}82 \cdot 10^7$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] zugeführt. Infolge fünfminutenlangen Hindurchsendens von Entladungen durch das Canalstrahlenrohr wurde eine Temperaturerhöhung von 1,29° constatirt; es wurden während dieser Zeit dem Calorimeter also 23,4 cal. zugeführt, d. h. $3{,}27 \cdot 10^6$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] pro Secunde, also 18 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

In diesem Falle repräsentirten die Canalstrahlen eine Stromstärke von $1{,}55 \cdot 10^{-4}$ Amp.

Stellt man die aus diesen Versuchen resultirenden Energieverhältnisse kurz zusammen, so erhält man:

Versuche		1	2
Primär	Spannung in Volt	5200	5880
	Stromstärke in Amp.	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$
	Volt . Amp. = Watt	1,61	1,82
	= [$cm^2\,g\,sec^{-3}$]	$1{,}61 \cdot 10^7$	$1{,}82 \cdot 10^7$
Als Wärme abgegebene Energie pro Secunde [$cm^2\,g\,sec^{-2}$]		$1{,}66 \cdot 10^6$	$3{,}27 \cdot 10^6$
$\frac{\text{Abgegebene Wärme}}{\text{Zugeführte Watt}}$ [$cm^2\,g\,sec^{-3}$]		10,3 Proc.	18 Proc.

Da das Atomgewicht des Eisens = 56 ist, so erhält man unter der Annahme zweiwerthiger Eisenionen für

$$\frac{\varepsilon}{m} : 345 \left[\frac{cm^{1/2}\,g^{1/2}}{g}\right].$$

Es ergeben sich somit für v nach Formel (6) die folgenden Werthe:

$v_1 = \alpha \,.\, 1{,}2 \;\; .10^7 [\mathrm{cm\ sec^{-1}}]$ bei 5200 Volt Spannung.

$v_2 = \alpha \,.\, 1{,}21 \,.\, 10^7 [\mathrm{cm\ sec^{-1}}]$ bei 5880 Volt Spannung.

Der Grössenordnung nach stimmen diese Werthe genau mit den von Hrn. W. Wien gefundenen überein; Uebereinstimmung auch der Ziffern ist von vornherein überhaupt nicht zu erwarten, weil ja gewiss nur ein Theil der in den Canalstrahlen enthaltenen kinetischen Energie als Wärme auf der Auffangfläche und im Calorimeter wieder erhalten wird. Wir finden, dass etwa nur $^1/_9$ der Energie bei unseren Rohrdimensionen und der Dicke des verwendeten Glases erhalten wird. Wir wollen diesen Reductionsfactor ($\alpha^2 = 9$) benutzen, um die aus unseren Messungen resultirenden Geschwindigkeiten auf ihre *wahren* Werthe zu reduciren.

Versuche mit der Platinkathode.

Versuch I.

Die Spannung an der Anode betrug 5070 Volt, es wurde dem Rohre also pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \,.\, 10^{-4} \,.\, 5070 = 1{,}57 \,.\, 10^7 [\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ zugeführt. Die Temperaturerhöhung betrug in 5 Min. als Mittel aus zwei Versuchen 0,755° (beobachtet wurden 0,76° und 0,75°), es wurde dem Calorimeter also in 5 Min. eine Wärmemenge von 13,7 cal. zugeführt, das sind $1{,}91 \,.\, 10^6 [\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ pro Secunde, also 12,2 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Versuch II.

Die Spannung an der Anode betrug 5350 Volt, es wurde dem Canalstrahlenrohre also secundlich eine Energie von $3{,}1 \,.\, 10^{-4} \,.\, 5350 = 1{,}66 \,.\, 10^7 [\mathrm{cm^2\text{-}g\text{-}sec^{-2}}]$ zugeführt. Es wurde nach einer Versuchsdauer von 5 Min. eine Temperaturerhöhung von 0,78° beobachtet, sodass die an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge 14,2 cal. pro 5 Minuten betrug, das sind $1{,}98 \,.\, 10^6 [\mathrm{cm^2\text{-}g\text{-}sec^{-2}}]$ pro Secunde, also 11,9 Proc. der gesammten zugeführten Energie.

Die Canalstrahlen repräsentirten bei diesen Versuchen einen Strom von der Stärke $1{,}97 \,.\, 10^{-4}$ Amp.

Die aus den mit der Platinkathode angestellten Messungen resultirenden Energieverhältnisse giebt die folgende Tabelle wieder:

Versuche		1	2
Primär	Spannung in Volt	5070	5350
	Stromstärke in Amp.	$3{,}1.10^{-4}$	$3{,}1.10^{-4}$
	Volt . Amp. = Watt	1,57	1,66
	$= [cm^2\ g\ sec^{-3}]$	$1{,}57.10^7$	$1{,}66.10^7$
Als Wärme abgegebene Energie pro Secunde $[cm^2\ g\ sec^{-2}]$		$1{,}91.10^6$	$1{,}98.10^6$
$\frac{\text{Abgegebene Wärme}}{\text{Zugeführte Watt}}$ $[cm^2\text{-}g\text{-}sec^{-3}]$		12,2 Proc.	11,9 Proc.

Das Atomgewicht des Platins beträgt 194; nimmt man das Atom als vierwerthig an, so ergiebt sich als Werth für

$$\frac{\varepsilon}{m} : 199 \left[\frac{cm^{1/2}\ g^{1/2}}{g}\right] \text{ pro g.}$$

Es folgen somit für v die folgenden Werthe:

$v_1 = \alpha \,.\, 6{,}2 \,.\, 10^6 [cm\ sec^{-1}]$ bei 5070 Volt Spannung.

$v_2 = \alpha \,.\, 6{,}3 \,.\, 10^6 [cm\ sec^{-1}]$ bei 5350 Volt Spannung.

Es haben sich somit für die drei Metalle Aluminium, Eisen und Platin die folgenden Geschwindigkeiten ergeben, falls ihre Ionen als Canalstrahlen bei sehr geringen Drucken die Kathode zu durchfliegen gezwungen werden:

	Al	Fe	Pt
Direct bestimmte Geschwindigkeit (Mittelwerth)	$\alpha.1{,}97.10^7$	$\alpha.1{,}2.10^7$	$\alpha.6{,}3.10^6$ $[cm\ sec^{-1}]$
Wahre Geschwindigkeit	$5{,}9\ .10^7$	$3{,}6.10^7$	$1{,}9.10^7$ $[cm\ sec^{-1}]$

Während bisher durch die schönen von Hrn. W. Wien angestellten Versuche allein für Eisenelektroden die Geschwindigkeit der Canalstrahlen bekannt war, so ist hiermit auch die Geschwindigkeit für Aluminium und für Platin gefunden worden. Wie man sieht, liegen alle drei Werthe in derselben Grössenordnung. Die Zahlenwerthe verhalten sich etwa wie 3 : 2 : 1.

Im Folgenden soll die von den als Canalstrahlen pro cm^2 wirksamer Kathodenfläche fortgeschleuderten Atomen ausgeübte Bewegungsgrösse mit der Bewegungsgrösse in Beziehung gebracht werden, welche die als Gasfüllung das Entladungsgefäss erfüllenden Molecüle auf 1 cm^2 Fläche ausüben. Das diese Grösse mit

der bei einer einzigen Entladung fortgeschleuderten Anzahl von Atomen zusammen hängen wird, so habe ich, nur um ein Resultat in der Grössenordnung zu erhalten, als Entladungszahl pro Secunde den Werth 60000 (vgl. p. 10) beibehalten, der zwar in der Grössenordnung von dem wahren Werthe nicht sehr verschieden sein wird, aber ohne Zweifel zu klein angenommen ist.

Da es nur auf die Grössenordnung ankommt, so benutzen wir die Formel (4a), welche unseren directen Beobachtungen entspricht.

Nach der Formel (3): $n = q/\varepsilon$ kann man die Anzahl der pro Entladung fortgeschleuderten Atome berechnen.

Es ergiebt sich für **Al** bei der Spannung von 4600 Volt:

$$n = \frac{q}{\varepsilon} = \frac{9{,}37 . 10^{-6}}{2{,}4 . 10^{-20}} \cdot \frac{1}{6 . 10^{4}} = 6{,}5 . 10^{9} \text{ Atome pro Entladung.}$$

Für **Fe** ergiebt sich bei einer Spannung von 5880 Volt:

$$n = \frac{q}{\varepsilon} = \frac{1{,}55 . 10^{-5}}{1{,}6 . 10^{-20}} \cdot \frac{1}{6 . 10^{4}} = 1{,}62 . 10^{10} \text{ Atome pro Entladung.}$$

Analog ist für **Pt** bei einer Spannung von 5350 Volt:

$$n = \frac{p}{\varepsilon} = \frac{1{,}97 . 10^{-5}}{3{,}2 . 10^{-20}} \cdot \frac{1}{6 . 10^{4}} = 1{,}03 . 10^{10} \text{ Atome pro Entladung.}$$

Man sieht, dass die Zahl der bei jeder Entladung fortgeschleuderten Theilchen in derselben Grössenordnung liegt.

Man kann nun auch die pro Entladung fortgeschleuderte Masse sofort in g angeben, indem man die Formel

$$n . \frac{m}{2} v^2 = a \left[\text{cm}^2 \text{ g sec}^{-2}\right] \tag{4a}$$

benutzt. Es ist nämlich

$$n . m = \frac{2a}{v^2} \left[\text{g} = \frac{\text{cm}^2 \text{ g sec}^{-2}}{\text{cm}^2 \text{ sec}^{-2}}\right].$$

Für **Al** ergiebt sich:

$$n . m = \frac{3{,}2 . 10^{6}}{3{,}65 . 10^{14}} \cdot \frac{1}{6 . 10^{4}} = 1{,}46 . 10^{-13} \text{g} \quad \text{pro Entladung,}$$

was sich auch direct ergeben haben würde, wenn man für m und n ihre Werthe einsetzte. Es ist dann nämlich:

$$6{,}5 . 10^{9} . 27 . 8{,}3 . 10^{-25} = 1{,}46 . 10^{-13} \text{g.}$$

Für **Fe** findet man:

$$n \cdot m = \frac{6{,}54 \cdot 10^{3}}{1{,}45 \cdot 10^{14}} \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^{4}} = 7{,}51 \cdot 10^{-13}\,\text{g}$$ pro Entladung,

sowie direct:

$$1{,}62 \cdot 10^{10} \cdot 56 \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-25} = 7{,}51 \cdot 10^{-13}\,\text{g}.$$

Für **Pt** hat man:

$$n \cdot m = \frac{3{,}96 \cdot 10^{5}}{3{,}98 \cdot 10^{13}} \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^{4}} = 1{,}66 \cdot 10^{-12}\,\text{g}$$ pro Entladung

und direct:

$$1{,}03 \cdot 10^{10} \cdot 194 \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-25} = 1{,}66 \cdot 10^{-12}\,\text{g}.$$

Man sieht, dass die pro Entladung fortgeschleuderte Menge ausserordentlich gering ist. Haben wir auch in der Secunde 60000 Einzelentladungen, so werden in dieser Zeit doch nur z. B. $8{,}75 \cdot 10^{-9}$ g Al geschleudert; von diesen $8{,}75 \cdot 10^{-9}$ g fliegt aber der grösste Theil infolge elastischen Stosses wieder in den Gasraum zurück. *Will man angenähert die Zeit bestimmen, die man brauchte, um nur 1 mg des Metalles auf der der Kathode gegenüberliegenden Wand niedergeschlagen zu erhalten, so muss man den Factor $\alpha = 3$ berücksichtigen; man kommt dann auf eine Entladungszeit von etwa 288 Stunden bei ununterbrochener Versuchsdauer. Berücksichtigt man diese Zahlenergebnisse, so fällt, wie man sieht, der oben auf p. 6 angedeutete Einwand, der gegen die Canalstrahlen als ein Bombardement von Theilchen zu sprechen schien.*

Haben wir die geschleuderten Mengen, so können wir die Bewegungsgrössen berechnen, da uns die Geschwindigkeiten aus unseren Messungen ja direct bekannt sind.

Bei den Versuchen, aus denen die obigen Zahlenwerthe sich ergeben haben, gingen die Canalstrahlen von etwa 0,4 cm² Kathodenfläche aus, d. h. es ist hier als Kathodenfläche der Flächenraum gerechnet, der übrig bleibt, wenn man von der Erzeugungsfläche der Canalstrahlen den Flächenraum abzieht, den das Drahtgewebe, welches ja die Kathode bildet, für sich einnimmt, und von dem aus ja nach der Rückseite keine Canalstrahlen entsandt werden. Es wurde demnach von den Ionen der verschiedenen Metalle pro 1 cm² pro Entladung auf die darüber befindliche Gasmasse folgende Bewegungsgrösse ausgeübt, wenn wir noch $n \cdot m = M$ setzen:

Für Al: $M.v = 1{,}46.10^{-13}.1{,}91.10^{7}.2{,}5 = 6{,}95.10^{-6}$ [cm g s^{-1}].

Für Fe: $M.v = 7{,}51.10^{-13}.1{,}2\ .\ 10^{7}.2{,}5 = 2{,}26.10^{-5}$ [cm g s^{-1}].

Für Pt: $M.v = 1{,}66.10^{-12}.6{,}3\ .\ 10^{6}.2{,}5 = 2{,}62.10^{-5}$ [cm g s^{-1}].

Würde man nicht von unserer Formel (4a) ausgegangen sein, sondern von der Formel (4b), welche den Factor α enthält, der sich aus dem Vergleich mit den Wien'schen Ergebnissen zu rund $= 3$ ergab, so würde an der Grössenordnung der Bewegungsgrösse nichts geändert, zumal ja die oben gefundenen Werthe für M schon in Folge der sicherlich viel grösseren Endladungszahl zu gross erhalten sind.

Da die Canalstrahlen, bevor sie zur Auffangelektrode *Kn* gelangen konnten, einen Weg von 4 cm zurücklegen mussten, sie also pro cm^2 Erzeugungsfläche einen Raum von 1 cm^2 Grundfläche und 4 cm Höhe, das sind 4 cm^3, passirt haben mussten, so wollen wir mit der von ihnen pro Entladung ausgeübten Bewegungsgrösse, die gleichsam den Druck darstellt, den die geschleuderten Theilchen auf das sich ihnen widersetzende Gas ausüben, den sie gerade überwinden müssen, diejenige Bewegungsgrösse vergleichen, welche die in 4 cm^3 des betreffenden Gases, in dem die Entladungen vor sich gehen, enthaltenen Molecüle in der Richtung senkrecht zur Kathode, in der die geschleuderten Theilchen geflogen kommen, ausüben. Ich zerlege zu dem Zwecke die Molecüle in drei Theile, die wegen der gleichmässigen Vertheilung der Gasmolecüle und wegen der Ausübung eines von der Richtung unabhängigen Druckes einander gleich sein müssen, und fasse als einen Theil die senkrecht zur Kathode sich bewegenden Molecüle näher ins Auge.

Man bekommt für $\mathbf{H}_2$:

1 cm^3 bei 760 mm Hg und 0° enthält $5{,}4\ .\ 10^{16}$ Molecüle.

Da bei constantem Druck $v = v_0(1 + \alpha t) = 1{,}073\ .\ v_0$ für 20° ist, und da die Dichtigkeiten desselben Gases sich umgekehrt wie die Volumina verhalten, die es einnimmt, so ist $d : d_0 = v_0 : v$; es ergiebt sich somit:

1 cm^3 bei 760 mm Hg und 20° enthält $5{,}03\ .\ 10^{16}$ Molecüle.

Demnach haben wir bei dem Drucke, bei dem unsere Canal-

strahlen in dem hier betrachteten Gase auftreten und an der Auffangelektrode *Kn* bemerkbar werden:

4 cm³ bei 0,261 mm Hg und 20° enthalten $6{,}92 \cdot 10^{18}$ Mol.

1 Atom H wiegt $8{,}3 \cdot 10^{-25}$ g, also wiegen $6{,}92 \cdot 10^{18}$ Moleküle H_2 $1{,}15 \cdot 10^{-10}$ g.

Die mittlere Geschwindigkeit der H_2-Molecüle beträgt $1{,}698 \cdot 10^5$ [cm sec^{-1}], also ist $n \cdot m \cdot v = 1{,}95 \cdot 10^{-5}$ [cm g sec^{-1}], somit die Bewegungsgrösse pro cm²:

$$\frac{1}{3} \cdot n \cdot m \cdot v = 6{,}52 \cdot 10^{-6} \text{ [cm g sec}^{-1}\text{]}.$$

Für $\mathbf{CO_2}$ ergiebt sich:

1 cm³ bei 0,094 mm Hg und 20° enthält $7{,}05 \cdot 10^{12}$ Molecüle;

4 cm³ bei 0,094 mm Hg und 20° enthalten $2{,}82 \cdot 10^{13}$ Molecüle.

1 Molecül CO_2 wiegt $44 \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-25}$ g $= 3{,}65 \cdot 10^{-23}$ g. Es wiegen somit $2{,}82 \cdot 10^{13}$ Molecüle CO_2 $1{,}03 \cdot 10^{-9}$ g. Die mittlere Geschwindigkeit der CO_2-Molecüle beträgt $3{,}61 \cdot 10^4$ [cm sec^{-1}], es ergiebt sich somit als Bewegungsgrösse pro cm²:

$$\frac{1}{3} n \cdot m \cdot v = 1{,}08 \cdot 10^{-5} \text{ [cm g sec}^{-1}\text{]}.$$

Für $\mathbf{N_2}$ ergiebt sich schliesslich:

1 cm³ bei 0,141 mm Hg und 20° enthält $9{,}32 \cdot 10^{12}$ Molecüle.

4 cm³ bei 0,141 mm Hg und 20° enthalten $3{,}73 \cdot 10^{13}$ Molecüle.

1 Molecül N_2 wiegt $28 \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-25}$ g $= 2{,}32 \cdot 10^{-23}$ g. Es wiegen also $3{,}73 \cdot 10^{13}$ Molecüle $8{,}64 \cdot 10^{-10}$ g. Die mittlere Geschwindigkeit der N_2-Molecüle beträgt $4{,}53 \cdot 10^4$ [cm sec^{-1}], es ist also die Bewegungsgrösse pro cm²:

$$\frac{1}{3} n \cdot m \cdot v = 1{,}30 \cdot 10^{-5} \text{ [cm g sec}^{-1}\text{]}.$$

Stellt man diese Werthe zusammen und vergleicht sie mit den Zahlen, p. 33 oben,

$$\text{für } H_2: \frac{1}{3} M \cdot v = 6{,}52 \cdot 10^{-6} \text{ [cm g sec}^{-1}\text{]},$$

$$\text{für } CO_2: \frac{1}{3} M \cdot v = 1{,}08 \cdot 10^{-5} \text{ [cm g sec}^{-1}\text{]},$$

$$\text{für } N_2: \frac{1}{3} M \cdot v = 1{,}30 \cdot 10^{-1} \text{ [cm g sec}^{-1}\text{]},$$

so kommt man zu folgendem Satze:

Die Bewegungsgrösse, welche die in 4 cm³ vorhandenen Molecüle, die als Gasfüllung das Entladungsrohr erfüllen, nach einer Richtung ausüben, muss von derselben Grössenordnung geworden sein, wie die schliesslich bei den Messungen sich ergebende Bewegungsgrösse des zerstäubten Kathodenmetalles. In dem Augenblicke nämlich, wo mit der Evacuation soweit fortgeschritten ist, dass die Bewegungsgrösse des fortgeschleuderten Metalles gleich oder grösser geworden ist als die Bewegungsgrösse der den Gasraum erfüllenden Molecüle, beginnen die Canalstrahlen eine bestimmte Entfernung zu erreichen. Natürlich kommt die in den Canalstrahlen aufgespeicherte Energie anfänglich nicht vollkommen zur Geltung, da viele Ionen von den Gasmolecülen zurückgehalten werden. Erst wenn die mittlere freie Weglänge sehr gross geworden ist, der moleculare Querschnitt also sehr gering, ist auch die Bewegungsgrösse des Gases verschwindend klein geworden gegen die Bewegungsgrösse der Ionen, sodass man dann keine nennenswerthe Beeinflussung der Ionen durch die Molecüle mehr anzunehmen braucht.

Noch eine weitere sehr interessante Erscheinung hatte ich bei meinen Versuchen zu beobachten Gelegenheit. Hr. H. Ebert[1]) hatte bei Wechselstromentladungen die Erscheinung untersucht, dass bei einem für jedes Gas bestimmten Drucke eine Umkehr in der Spannung und der Stromstärke derart stattfindet, dass die Stromstärke dort einen maximalen Werth hat, wo die Spannung ein Minimum hat, und zwar treten diese Umkehrerscheinungen für beliebige Gase dann ein, wenn die molecularen Weglängen derselben einen bestimmten Werth erlangt haben. Dieses ist in der oben citirten Arbeit ungefähr der Augenblick, wo die vorderen Ränder der Glimmlichtstrahlen sich in der Mitte des Entladungsrohres begegnen. Ich habe bei meinen Versuchen nur Entladungen in einer Richtung durch das Canalstrahlenrohr gesandt, musste also schon aus dem Grunde zu anderen Zahlenwerthen gelangen. Die Spannungsumkehr wird durch die folgenden Zahlen erläutert, bei welchen die durch Canalstrahlen in der Zeit-

1) H. Ebert, Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wissensch. 28. p. 497 ff. 1898.

einheit an die Auffangelektrode übertragene Coulombzahl = C gesetzt ist:

Kathode aus Fe in H_2.						
Druck in mm Hg	3,49	1,17	0,393	0,251	0,132	0,0443
Spannung in Volt	968	552	**496**	543	1020	3380
C	—	—	—	$1{,}0.10^{-6}$	$9{,}0.10^{-6}$	$5.3.10^{-5}$.
Kathode aus Fe in CO_2.						
Druck in mm Hg	3,49	1,17	0,393	0,132	0,0845	0,0443
Spannung in Volt	1150	750	**595**	665	865	1400
C	—	—	—	—	$2{,}0.10^{-6}$	$1{,}0.10^{-5}$.
Kathode aus Pt in CO_2.						
Druck in mm Hg	3,41	1,14	0,384	0,129	0,0779	0,0432
Spannung in Volt	1090	701	**552**	643	1050	1620
C	—	—	—	—	1.10^{-5}	$4{,}1.10^{-5}$.
Kathode aus Pt in N_2.						
Druck in mm Hg	1,14	0,384	0,129	0,0432	0,0145	
Spannung in Volt	736	**585**	886	3300	5600	
C	—	—	$9{,}0.10^{-6}$	$1{,}08.10^{-4}$	$1{,}96.10^{-4}$.	

Wie man sieht, fällt der Umkehrdruck nahezu auf den Druck, wo die ersten Spuren von positiv geladenen Ionen, die bei fortschreitender Druckerniedrigung dann die regelmässigen Canalstrahlen bilden, durch die Kathode hindurchfliegen.

In jedem der angeführten Fälle liegt das Minimumpotential, also der Umkehrdruck, etwa bei dem Drucke, bei dem die Canalstrahlen in messbarer Weise auf die Auffangselektrode Kn einzuwirken beginnen.

Da nun, wie Hr. H. Ebert[1]) gezeigt hat, der Umkehrdruck U eines Gases direct mit dem Radius der molecularen Wirkungssphäre ϱ und umgekehrt mit der Werthigkeitssumme s des Molecularcomplexes des Gases nach der Formel:

$$U = K . \varrho / s$$

zusammenhängt, wo K eine bestimmt dimensionirte Constante vorstellt, so musste sich letztere direct berechnen lassen, da die übrigen Grössen bekannt sind. Es ist nach den Bestimmungen des Hrn. O. E. Meyer:

$$\varrho \text{ für } CO_2 = 0{,}13\ \mu\mu,$$
$$\varrho \text{ für } N_2 = 0{,}17\ \mu\mu,$$
$$\varrho \text{ für } H_2 = 0{,}10\ \mu\mu.$$

1) H. Ebert, Wied. Ann. 67. p. 608ff. 1899.

Die Werthigkeitssumme ist für $CO_2 = 8$, für $N_2 = 6$, für $H_2 = 2$; es ergiebt sich somit für

$$CO_2: \varrho/s = 0{,}0162\ \mu\mu = 1{,}62 \cdot 10^{-9}\ \text{cm},$$
$$N_2 : \varrho/s = 0{,}0284\ \mu\mu = 2{,}84 \cdot 10^{-9}\ \text{cm},$$
$$H_2 : \varrho/s = 0{,}050\ \mu\mu = 5{,}00 \cdot 10^{-9}\ \text{cm}.$$

Diese Werthe verhalten sich nun in der That nahezu wie die Umkehrdrucke, denn es ist

Gas	Umkehrdruck in Dynen pro cm²	ϱ/s	Verhältniss der Umkehrdrucke
CO_2	125	$1{,}62 \cdot 10^{-9}$ cm	1,8
N_2	187	$2{,}84 \cdot 10^{-9}$ cm	2,7
H_2	347	$5{,}0 \cdot 10^{-9}$ cm	5,0

Diese Werthe sind also mit Rücksicht auf die doch immerhin sehr hypothetische Grösse des Molecüldurchmessers als die gemachte Voraussetzung vollkommen bestätigend anzusehen. Man kann nun die Constante K sofort berechnen; es ergiebt sich sodann

bei den Versuchen mit H_2:

$$347 = K \cdot 5 \cdot 10^{-9};\ \text{also}\ K = 6{,}94 \cdot 10^{10}\ [\text{cm}^{-2}\,\text{g}\,\text{sec}^{-2}];$$

bei den Versuchen mit N_2:

$$187 = K \cdot 2{,}84 \cdot 10^{-9};\ \text{also}\ K = 6{,}6 \cdot 10^{10}\ [\text{cm}^{-2}\,\text{g}\,\text{sec}^{-2}];$$

bei den Versuchen mit CO_2:

$$125 = K \cdot 1{,}62 \cdot 10^{-9};\ \text{also}\ K = 7{,}7 \cdot 10^{10}\ [\text{cm}^{-2}\,\text{g}\,\text{sec}^{-2}].$$

Dieses liefert im Mittel einen Werth von $7 \cdot 10^{10}[\text{cm}^{-2}\,\text{g}\,\text{sec}^{-2}]$ für K.

Man ist nun umgekehrt im Stande, bei Gasen, deren Molecüldurchmesser man kennt und deren Werthigkeitssumme ja immer bekannt ist, unter Benutzung dieses Werthes für K den Umkehrdruck in absolutem Maasse anzugeben, oder umgekehrt, wenn man den Umkehrdruck bestimmt hat, kann man den Radius der molecularen Wirkungsphäre für ein Gas, dessen Werthigkeitsumme bekannt ist, sofort angeben.

Der Ursprung der Canalstrahlen ist, wie Versuche des Hrn. A. Wehnelt[1]) gezeigt haben, in einer endlichen Ent-

1) A. Wehnelt, Wied. Ann. 67. p. 421 ff. 1899.

fernung vor der Kathode anzunehmen, da sie einen Schatten auf dieselbe werfen. Wahrscheinlich entstehen sie im dunklen Kathodenraume, und zwar in der Nähe der Glimmlichtschicht, also in der Gegend, wo die blauen Kathodenstrahlen und die röthlich-gelben Canalstrahlen durch den Dunkelraum getrennt erscheinen. Dass die Canalstrahlen nicht aus fortgeschleuderten *Anoden*theilchen bestehen, dafür scheint mir der Umstand zu sprechen, dass bei verschiedenem Kathodenmateriale und derselben Anode doch verschiedene Elektricitätsmengen mittels der Canalstrahlen fortgeführt wurden, und dass auch die Energieabgabe eine verschiedene war. Ich habe auch die Wehnelt'sche Angabe geprüft, da die Canalstrahlen eine oxydirende Wirkung ausüben sollen, ob es vielleicht Sauerstofftheilchen wären, die die Canalstrahlen bilden. Diese Annahme würde zwar mit meinen Messungen verträglich sein, doch müssten noch weitere Versuche in dieser Richtung angestellt werden, *da die Vorderseite der Kathode an den Stellen, die in der rückläufigen Verlängerung der Canalstrahlen lagen, bei meinen Versuchen blank, also nicht oxydirt war.* Hiergegen wäre vor allem einzuwenden, dass der O bei der gewöhnlichen Elektrolyse elektronegativ ist. Da die Metalle bei der gewöhnlichen Elektrolyse elektropositiv sind, so wäre es wohl begreiflich, dass die positiv geladenen Canalstrahlen-Ionen aus Metalltheilchen bestehen, und deshalb möchte ich mich der Ansicht anschliessen, die Canalstrahlen als geschleuderte Metall-Ionen des Kathodenmateriales anzusehen und also für jedes Metall eine verschiedene Geschwindigkeit der Ionen anzunehmen.

II. Versuche mit Kathodenstrahlen.

Es war zunächst zu versuchen, ob man durch Messung der durch Kathodenstrahlen übertragenen Elektricitätsmenge und der von ihnen abgelieferten Energiemenge[1]) nicht einen Rückschluss machen könne auf die in den Kathodenstrahlen fortgeschleuderten Theilchen. Dazu war einerseits das Elektrodenmaterial auszuwechseln, andererseits waren vergleichbare Messungen mit verschiedenen Gasfüllungen durchzuführen.

1) Vgl. auch G. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungsber. d. phys.-med. Societät in Erlangen. Heft 24. 1892; namentlich auch J. J. Thomson.

Die hierauf bezüglichen Versuche sind im folgenden mitgetheilt, wobei auch des Vergleiches halber entsprechende Messungen für die Canalstrahlen am gleichen Rohre mitgetheilt wurden. Ausserdem war es interessant, die in diesen Strahlungen vorhandene Energie mit der gesammten, dem Rohre überhaupt zugeführten elektrischen Energie in Beziehung zu setzen.

Die folgenden Versuche wurden mit dem Entladungsgefässe, Fig. 4, unter Anwendung derselben Kathoden, wie sie bei den Canalstrahlen benutzt waren, angestellt. Wurden die Kathodenstrahlen beobachtet, so war die Anode (+), sowie das Diaphragma *D* zur Erde abgeleitet. Um die der Elektrode *Kth* zugestrahlte Elektricitätsmenge zu messen, war dieselbe mit dem Galvanometer verbunden und dann zur Erde abgeleitet. Die Spannung wurde an der Kathode (−) gemessen. Die Elektrode *Kn* blieb isolirt. Wurden die Canalstrahlen beobachtet, so war die Kathode (−) zur Erde abgeleitet. Die Spannung wurde, wie in Theil I, an der Anode gemessen. Die Auffangelektrode *Kth*, sowie das Diaphragma *D* blieben isolirt.

A. Versuche mit der Aluminiumkathode.

I. In Luft.

a) Messung von Elektricitätsmengen.

In der folgenden Tabelle sind die bei den betreffenden Drucken durch Kathoden- und Canalstrahlen fortgeführten Elektricitätsmengen, sowie die herrschenden Spannungen eingetragen:

	Kathodenstrahlen		Canalstrahlen	
Druck in mm Hg	Coulomb pro sec	Spannung in Volt	Coulomb pro sec	Spannung in Volt
0,06	$6{,}8.10^{-5}$	3 300	$6{,}2.10^{-5}$	2620
0,021	$1{,}07.10^{-4}$	6 280	$7{,}3.10^{-5}$	3300
0,0074	keine Entladungen mehr		$7{,}6.10^{-5}$	3500
0,0026	„	„	$8{,}2.10^{-5}$	3850
0,00091	„	„	$9{,}8.10^{-5}$	4860
0,00032	„	„	$1{,}03.10^{-4}$	6100

Das Maximum der mittels der Kathodenstrahlen fortgeführten negativen Elektricität hat, abgesehen vom Vorzeichen, denselben Werth, wie das Maximum bei den Canalstrahlen, näm-

lich etwa $1{,}05 \cdot 10^{-4}$ Coul. pro Secunde, aber bei verschiedenen Drucken, nämlich bei 0,021 mm Hg für die Kathodenstrahlen und bei 0,00032 mm Hg für die Canalstrahlen. Es wurden noch fünf Versuche derselben Art angestellt, die dasselbe Resultat lieferten.

b) Energiemessungen.

Die Spannung an der Kathode betrug 4320 Volt, d. h wenn man nach der vorigen Tabelle interpolirt, bei einem Drucke von 0,047 mm Hg; es wurde dem Rohre also mit Rücksicht auf p. 9 pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4320 = 1{,}34 \cdot 10^{7}$ [$cm^2 g sec^{-2}$] zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von 0,66° pro 5 Min. Versuchsdauer, es ergab sich also eine Wärmemenge von 12,1 cal. pro 5 Min., das sind $1{,}69 \cdot 10^{6}$ [$cm^2 g sec^{-2}$] pro Secunde.

Man sieht also, dass ein ausserordentlich grosser Betrag der Gesammtenergie durch die Kathodenstrahlen auf die Elektrode *Kth* übertragen wird.

II. In CO_2.

a) Messung von Elektricitätsmengen.

Druck in mm Hg	Kathodenstrahlen		Canalstrahlen	
	Coulomb pro sec	Spannung in Volt	Coulomb pro sec	Spannung in Volt
0,00705	$7{,}95.10^{-5}$	3440	$6{,}7.10^{-5}$	2630
0,00248	$1{,}03.10^{-4}$	4860	$7{,}8.10^{-5}$	3440
0,00087	keine Entladungen mehr			

b) Energiemessungen.

Versuch I. Die Spannung an der Kathode betrug 4700 Volt, der Druck also ungefähr 0,0025 mm Hg; es wurde dem Rohres pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4700 = 1{,}46 \cdot 10^{7}$ [$cm^2 g sec^{-2}$] zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von 0,91° pro 5 Min. Versuchsdauer, es ergab sich also eine Wärmemenge von 16,7 cal. pro 5 Min., das sind $2{,}33 \cdot 10^{6}$ [$cm^2 g sec^{-2}$] pro Secunde.

Versuch II. Die Spannung an der Kathode betrug 4940 Volt; es wurde dem Rohre also pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4940 = 1{,}53 \cdot 10^{7}$ [$cm^2 g sec^{-2}$] zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters um 0,96° pro 5 Min. Versuchsdauer, es ergab sich also eine Wärme-

menge von 17,6 cal. pro 5 Min., das sind $2{,}46 \cdot 10^6 [cm^2 g sec^{-2}]$ pro Secunde.

Als Mittel aus diesen beiden Versuchen ergiebt sich eine Spannung an der Kathode von 4820 Volt, also eine dem Rohre zugeführte Energie von $1{,}5 \cdot 10^7 [cm^2 g sec^{-2}]$ pro Secunde. Die pro Secunde von den Kathodenstrahlen abgegebene Wärmemenge betrug demnach $2{,}39 \cdot 10^6 [cm^2 g sec^{-2}]$.

III. In O_2.

a) Messung von Elektricitätsmengen.

Druck in mm Hg	Kathodenstrahlen	
	Coulomb pro sec	Spannung in Volt
0,0207	$6{,}05.10-5$	2950
0,00725	$1{,}08.10-4$	4950
0,00254	keine Entladungen mehr.	

b) Energiemessungen.

Versuch I. Die Spannung an der Kathode betrug 4660 Volt, der Druck also ungefähr 0,008 mm Hg; es wurde dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4660 = 1{,}45 \cdot 10^7 [cm^2 g sec^{-2}]$ zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von 0,92° pro 5 Min. Versuchsdauer, es ergab sich also eine Wärmemenge von 17,3 cal. pro 5 Min., das sind $2{,}41 \cdot 10^6 [cm^2 g sec^{-2}]$ pro Secunde.

Versuch II. Die Spannung an der Kathode betrug 4600 Volt, es wurde dem Rohre daher pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4600 = 1{,}43 \cdot 10^7 [cm^2 g sec^{-2}]$ zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von 0,94° pro 5 Min. Versuchsdauer; es ergab sich also eine Wärmemenge von 17,3 cal. pro 5 Min., das sind $2{,}41 \cdot 10^6 [cm^2 g sec^{-2}]$ pro Secunde.

Als Mittel aus diesen Versuchen ergiebt sich eine Spannung an der Kathode von 4630 Volt, also eine dem Rohre zugeführte Energie von $1.44 \cdot 10^7 [cm^2 g sec^{-2}]$ pro Secunde. Die pro Secunde von den Kathodenstrahlen abgegebene Wärmemenge betrug $2{,}38 \cdot 10^6 [cm^2 g sec^{-2}]$ pro Secunde, also derselbe Werth, wie bei einer Füllung mit CO_2.

Die vorhergehenden Versuche zeigen zur Genüge, dass die übertragene Elektricitätsmenge von der Gasfüllung gänzlich

unabhängig ist. Deshalb wurde bei den folgenden Kathodenmaterialien immer nur je ein Gas zum Vergleich herangezogen.

B. Versuche mit der Eisenkathode.

In Luft.

a) Messung von Elektricitätsmengen.

Druck in mm Hg	Kathodenstrahlen		Canalstrahlen	
	Coulomb pro sec	Spannung in Volt	Coulomb pro sec	Spannung in Volt
0,0204	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	3440	—	—
0,00715	$1{,}25 \cdot 10^{-4}$	5060	$9{,}9 \cdot 10^{-5}$	3440
0,0025	keine Entladungen mehr		$1{,}17 \cdot 10^{-4}$	4030
0,00088	„ „ „		$1{,}22 \cdot 10^{-4}$	4440

b) Energiemessungen.

Versuch I. Die Spannung an der Kathode betrug 5470 Volt, es wurde also dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5470 = 1{,}7 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von $1{,}17^{0}$, es ergab sich also eine Wärmemenge von 21,5 cal. pro 5 Min., das sind $2{,}99 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ pro Secunde.

Versuch II. Die Spannung an der Kathode betrug 4940 Volt; es wurde demnach dem Rohre eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 4940 = 1{,}53 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ pro Secunde zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von $1{,}10^{0}$, es ergab sich also eine Wärmemenge von 20,1 cal. pro 5 Minuten, das sind $2{,}81 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ pro Secunde.

Als Mittel aus diesen Versuchen ergiebt sich eine Spannung an der Kathode von 5210 Volt, also eine dem Rohre zugeführte Energie von $1{,}62 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$ pro Secunde. Die pro Secunde von den Kathodenstrahlen abgegebene Wärmemenge betrug $2{,}90 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-2}}]$.

C. Versuche mit der Platinkathode.

In Luft.

a) Messung von Elektricitätsmengen.

α) für die Energiemessungen der Versuche I und II:

Druck in mm Hg	Kathodenstrahlen		Canalstrahlen	
	Coulomb pro sec	Spannung in Volt	Coulomb pro sec	Spannung in Volt
0,0049	$8{,}15 \cdot 10^{-5}$	5520	$1{,}38 \cdot 10^{-4}$	> 6500

β) für die Energiemessungen des Versuches III:

Druck in mm Hg	Kathodenstrahlen	
	Coulomb pro sec	Spannung in Volt
0,0020	$1{,}78 \cdot 10^{-4}$	6300

b) Energiemessungen.

Versuch I. Die Spannung an der Kathode betrug 5550 Volt, es wurde also dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5550 = 1{,}72 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von $0{,}82^0$; es ergab sich also eine Wärmemenge von 15,1 cal. pro 5 Minuten, das sind $2{,}1 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ pro Secunde.

Versuch II. Die Spannung an der Kathode betrug 5180 Volt, es wurde also dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5180 = 1{,}61 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von $0{,}83^0$; es ergab sich somit eine Wärmemenge von 15,3 cal. pro 5 Minuten, das sind $2{,}11 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ pro Secunde.

Als Mittel aus diesen Versuchen ergiebt sich eine Spannung an der Kathode von 5370 Volt, also eine dem Rohre zugeführte Energie von $1{,}67 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ pro Secunde. Die pro Secunde von den Kathodenstrahlen abgegebene Wärmemenge betrug $2{,}1 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$.

Versuch III. Die Spannung an der Kathode betrug 5900 Volt, es wurde demnach dem Rohre pro Secunde eine Energie von $3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5900 = 1{,}83 \cdot 10^{7}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ zugeführt. Beobachtet wurde eine Temperaturerhöhung des Calorimeters von $1{,}66^0$, es ergab sich also eine Wärmemenge von 30,1 cal. pro 5 Minuten, das sind $4{,}2 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{sec}^{-2}]$ pro Secunde.

Wie sich schon bei den Canalstrahlen gezeigt hatte, dass für ein bestimmtes Metall, das als Kathodenmaterial verwendet wird, die bei geringen Drucken sich ergebenden Werthe für die übertragene Elektricitätsmenge von dem Gase, das in dem Entladungsrohre enthalten ist, unabhängig sind, so ergiebt sich dasselbe auch bei den Kathodenstrahlen; dagegen ist, wie man augenscheinlich sieht, die Energiemenge eine verschiedene, was mit Rücksicht auf die Ausführungen auf p. 35 nicht verwunderlich sein kann, da für dieselbe ja ausser den Geschwindigkeiten auch die Momente maassgebend sind.

Die von mir erhaltenen Zahlen für die Elektricitätsmengen einerseits und für die Energiemengen andererseits setzen mich nach den Ausführungen p. 8 in den Stand, die Geschwindigkeit der geschleuderten Theilchen zu berechnen und dadurch Werthe zu erhalten, welche den anderen bisher verwendeten Methoden ergänzend zur Seite treten.

Unter der Annahme des von Hrn. Kaufmann bestimmten Werthes für $\varepsilon/m = 1{,}86 \cdot 10^7$ [cm $^{1/2}$ g $^{1/2}$/g] pro Gramm kann die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten materiellen Theilchen nach der Formel

$$v = \sqrt{\frac{2\,a}{q} \cdot \frac{\varepsilon}{m}}$$

berechnet werden. Setzt man die bei den Versuchen mit der Aluminiumkathode in Luft gewonnenen Werthe ein, so erhält man

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}69 \cdot 10^6}{9{,}5 \cdot 10^{-6}} \cdot 1{,}86 \cdot 10^7} = 2{,}57 \cdot 10^9 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}.$$

Dieser Werth ist von derselben Grössenordnung, wie der von Hrn. W. Wien angegebene, er stimmt mit demselben (etwa $^1/_3$ Lichtgeschwindigkeit) bis auf den Factor von ungefähr 4 überein.

Es wurden nun die folgenden Berechnungen unter der Annahme durchgeführt, dass die Kathodenstrahlen aus Atomen uns bekannter Elemente bestehen, und im besonderen wurde die Angabe Villard's berücksichtigt, dass die Kathodenstrahlen aus Wasserstoff bestehen könnten.

Es ergaben sich nun die folgenden Zahlenwerthe:

A. Bei den Versuchen mit der Aluminiumkathode.

I. In Luft.

a) unter der Annahme fortgeschleuderter Al-Ionen.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}69 \cdot 10^6}{9{,}5 \cdot 10^{-6}} \cdot 1{,}07 \cdot 10^3} = 1{,}95 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}.$$

Dieses wäre dieselbe Geschwindigkeit, die auch bei den Canalstrahlen die Al-Ionen besitzen.

b) unter der Annahme geschleuderter H-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}69 \cdot 10^6}{9{,}5 \cdot 10^{-6}} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3} = 5{,}85 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}.$$

II. In Kohlensäure.

a) unter der Annahme fortgeschleuderter Al-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}39 \cdot 10^6}{1{,}03 \cdot 10^{-5}} 1{,}07 \cdot 10^3} = 2{,}22 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]};$$

b) unter der Annahme geschleuderter H-Ionen.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}39 \cdot 10^6}{1{,}03 \cdot 10^{-5}} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3} = 6{,}69 \cdot 10^7 \text{ cm sec}^{-1}\text{]}.$$

III. In Sauerstoff.

a) unter der Annahme fortgeschleuderter Al-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}38 \cdot 10^6}{1{,}05 \cdot 10^{-5}} \cdot 1{,}07 \cdot 10^3} = 2{,}2 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}$$

b) unter der Annahme geschleuderter H-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}38 \cdot 10^6}{1{,}05 \cdot 10^{-5}} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3} = 6{,}61 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}.$$

B. Bei den Versuchen mit der Eisenkathode.

In Luft.

a) unter der Annahme fortgeschleuderter Fe-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}9 \cdot 10^6}{1{,}33 \cdot 10^{-5}} \cdot 3{,}45 \cdot 10^2} = 1{,}23 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]},$$

b) unter der Annahme fortgeschleuderter H-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}9 \cdot 10^6}{1{,}33 \cdot 10^{-5}} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3} = 6{,}5 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}.$$

C. Bei den Versuchen mit der Platinkathode.

In Luft.

a) unter der Annahme fortgeschleuderter Pt-Ionen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^6}{8{,}15 \cdot 10^{-6}} \cdot 1{,}99 \cdot 10^2} = 1{,}01 \cdot 10^7 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}$$

aus den ersten beiden Versuchen;

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4{,}2 \cdot 10^6}{1{,}78 \cdot 10^{-5}} \cdot 1{,}99 \cdot 10^2} = 9{,}7 \cdot 10^6 \text{ [cm sec}^{-1}\text{]}$$

aus dem dritten Versuche.

b) unter der Annahme geschleuderter H-Jonen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^6}{8{,}15 \cdot 10^{-6}} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3} = 7{,}05 \cdot 10^7 \ [\text{cm sec}^{-1}]$$

aus den ersten beiden Versuchen;

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4{,}2 \cdot 10^6}{1{,}78 \cdot 10^{-5}} \cdot 9{,}654 \cdot 10^3} = 6{,}75 \cdot 10^7 \ [\text{cm sec}^{-1}]$$

aus dem dritten Versuche.

Es ergeben sich daher als Mittelwerthe die folgenden Geschwindigkeiten für die Metalle und den Wasserstoff:

$$\text{Al} \quad v = 1{,}98 \cdot 10^7 \ [\text{cm sec}^{-1}],$$
$$\text{Fe} \quad v = 1{,}23 \cdot 10^7 \ [\text{cm sec}^{-1}],$$
$$\text{Pt} \quad v = 9{,}9 \ \cdot 10^6 \ [\text{cm sec}^{-1}],$$
$$\text{H} \quad v = 6{,}55 \cdot 10^7 \ [\text{cm sec}^{-1}].$$

Nimmt man an, dass Metalltheilchen geschleudert würden, so würden für die verschiedenen Metalle lauter verschiedene Geschwindigkeiten resultiren, dagegen ergiebt sich unter der Annahme, dass H-Atome geschleudert werden, dieselbe Geschwindigkeit für dieselbe Spannungsdifferenz zwischen Anode und Kathode von im Mittel 5040 Volt. —

Auch das Umsetzungsverhältniss der Energie giebt sehr plausible Werthe, wie die folgende Tabelle zeigt:

Kathodenmaterial	Al			Fe	Pt	
Gasfüllung	Luft	CO_2	O_2	Luft	Luft a)	Luft b)
Zugeführte Energie $[\text{cm}^2\,\text{g}\,\text{sec}^{-3}]$	$1{,}34 \cdot 10^7$	$1{,}5 \cdot 10^7$	$1{,}44 \cdot 10^7$	$1{,}62 \cdot 10^7$	$1{,}67 \cdot 10^7$	$1{,}83 \cdot 10^7$
Energie der Wärme $[\text{cm}^2\,\text{g}\,\text{sec}^{-3}]$	$1{,}69 \cdot 10^6$	$2{,}39 \cdot 10^6$	$2{,}38 \cdot 10^6$	$2{,}9 \cdot 10^6$	$2{,}1 \cdot 10^6$	$4{,}2 \cdot 10^6$
Abgegebene Wärme / Zugeführte Watt	12,6	15,9	16,5	17,9	12,6	23 Proc.

Mittelwerth 16,4 Proc.

das heisst, von der dem Rohre zugeführten Energie wurden etwa 16 Proc. von den Kathodenstrahlen als Wärme im Calorimeter abgegeben.

Bestehen nun die Kathodenstrahlen aus H-Ionen, so musste eine gewisse Energie aufgewendet werden, um die neutralen

H_2-Molecüle zu dissociiren. Die Dissociationswärme [1]) des H_2 pro Gramm beträgt 128 300 g-cal. = $5{,}37 \cdot 10^{12}$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$]. Führt man die Rechnung an dem Versuche mit der Aluminiumkathode in Luft durch, so hat man die folgenden Daten zu benutzen:

Die abgegebene Elektricitätsmenge betrug $1{,}07.10^{-5}$ [$cm^{1/2}g^{1/2}$] pro sec. An 1 g H_2 haften 9654 [$cm^{1/2}\,g^{1/2}$]; $1{,}07 \cdot 10^{-5}$ [$cm^{1/2}\,g^{1/2}$] sind also gebunden an $1{,}11 \cdot 10^{-9}$ g H_2. Um diese $1{,}11 \cdot 10^{-9}$ g H_2 zu dissociiren, ist eine Energie von $5{,}9 \cdot 10^3$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] erforderlich. Da die dem Rohre zugeführte Energie $1{,}34 \cdot 10^7$ [$cm^2\,g\,sec^{-2}$] pro Secunde beträgt, so sind zur Dissociation der H_2-Molecüle nur etwa 0,05 Proc. der gesammten zugeführten Energie erforderlich, die mit Rücksicht auf die übrige Genauigkeit der Messungen weit ausserhalb der Beobachtungsgrenzen liegt, also ganz zu vernachlässigen ist.

Ich habe nun noch die von Hrn. Kaufmann benutzte Formel:

$$\frac{m}{2} v^2 = \varepsilon \cdot V_0\,[cm^2\,g\,sec^{-2}]\ ,$$

wo m die Masse eines geschleuderten materiellen Theilchens, v seine Geschwindigkeit, ε seine Ladung und V_0 das Entladungspotential vorstellt, durch die von mir gewonnenen Werthe zu verificiren gesucht.

Es war für Aluminium:

$$\begin{aligned} m &= 27 \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-25}\ [g] \\ \varepsilon &= 3 \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-21}\ [cm^{1/2}\,g^{1/2}] \\ V_0 &= 4{,}32 \cdot 10^{11}\ [cm^{3/2}\,g^{1/2}\,sec^{-2}] \\ v &= 1{,}95 \cdot 10^7\ [cm\,sec^{-1}] \end{aligned}$$

Man erhält, wenn man die Werthe einsetzt:

$$\frac{m}{2} v_{Al}^2 = 4{,}25 \cdot 10^{-9}\ ,$$

$$\varepsilon \cdot V_{0Al} = 1{,}04 \cdot 10^{-8}\ .$$

Es war für Wasserstoff:

$$\begin{aligned} m &= 8{,}3\ \cdot 10^{-25}\ [g] \\ \varepsilon &= 8{,}0\ \cdot 10^{-21}\ [cm^{1/2}\,g^{1/2}] \\ v &= 5{,}85 \cdot 10^7\ [cm\,sec^{-1}] \end{aligned}$$

---

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. **10.** p. 253. 1880.

Es ergiebt sich demnach mit Benutzung dieser Werthe:

$$\frac{m}{2} v^2_{\mathrm{H}} = 1{,}42 \cdot 10^{-9}$$

$$\varepsilon \cdot V_{0\mathrm{H}} = 3{,}46 \cdot 10^{-9}$$

Die beiden Werthe, die sich am nächsten kommen, sind:

$$\frac{m}{2} v^2_{\mathrm{Al}} = 4{,}25 \cdot 10^{-9} \text{ und } \varepsilon \cdot V_{0\mathrm{H}} = 3{,}46 \cdot 10^{-9} .$$

Die nicht ganz vollkommene Uebereinstimmung kann nicht überraschen, weil, wie schon oben auf p. 8 ausgeführt wurde, die an die Elektroden abgegebene Energie nicht völlig der in den Canal- und jetzt in den Kathodenstrahlen enthaltenen Energie entsprechen kann. Die Geschwindigkeitswerthe hatten schon auf den Factor $\alpha = 3$ etwa geführt; setzen wir dieses ein, so nimmt die Kaufmann'sche Formel die folgende Gestalt an:

(7) $$\alpha^2 \cdot \frac{m}{2} v^2 = \varepsilon \cdot V_0$$

Setze ich nun die von mir bestimmten Werthe in die Formel (7) ein, so erhalte ich die folgenden Beziehungen:

A. Es ist für Aluminium:

$$\alpha^2 \cdot \frac{m}{2} v^2 = 3{,}82 \cdot 10^{-8}$$

$$\varepsilon \cdot V_0 = 1{,}04 \cdot 10^{-8}.$$

Es ist für Wasserstoff:

$$\alpha^2 \cdot \frac{m}{2} v^2 = 1{,}28 \cdot 10^{-8}$$

$$\varepsilon \cdot V_0 = 3{,}46 \cdot 10^{-9}.$$

Aehnliche Werthe liefern die übrigen Versuche mit Aluminium.

B. Es ist für Platin:

$$\alpha^2 \cdot \frac{m}{2} v^2 = 7{,}46 \cdot 10^{-8}$$

$$\varepsilon \cdot V_0 = 1{,}72 \cdot 10^{-8}.$$

Es ist für Wasserstoff:

$$\alpha^2 \cdot \frac{m}{2} v^2 = 1{,}87 \cdot 10^{-8}$$

$$\varepsilon \cdot V_0 = 4{,}3 \cdot 10^{-9}.$$

C. Es ist für Eisen:

$$\alpha^2 . \frac{m}{2} v^2 = 3{,}15 . 10^{-8}$$

$$\varepsilon . V_0 = 8{,}34 . 10^{-9}.$$

Es ist für Wasserstoff:

$$\alpha^2 . \frac{m}{2} v^2 = 1{,}57 . 10^{-8}$$

$$\varepsilon . V_0 = 4{,}17 . 10^{-9}.$$

Man erkennt, dass die Werthe von $\varepsilon . V_0$ für das betreffende Kathodenmaterial mit den Werthen von $\alpha^2 . m . v^2/2$ für geschleuderte H-Ionen für Al und Pt fast genau übereinstimmen; für Eisenelektroden zeigt sich dagegen eine kleine Abweichung.

Da die Kathodenstrahlenerscheinungen von der Gasfüllung unabhängig sind, so kann, nachdem die Rechnung mit den Metallen und dem Wasserstoff durchgeführt war, eventuell noch der vom dissociirten Wasserdampf herrührende Sauerstoff die Kathodenstrahlenerscheinungen bedingen. Die mit Wasserstoff analog durchgeführte Rechnung ergab die folgenden Zahlenwerthe:

Aus den Versuchen mit der Al-Kathode:

$$v_0 = 2{,}07 . 10^7 [\text{cm sec}^{-1}]$$

$$v_0 = 2{,}34 . 10^7 [\text{cm sec}^{-1}].$$

Aus den Versuchen mit der Fe-Kathode:

$$v_0 = 2{,}3 . 10^7 [\text{cm sec}^{-1}].$$

Aus den Versuchen mit der Pt-Kathode:

$$v_0 = 2{,}49 . 10^7 [\text{cm sec}^{-1}].$$

Setzt man diese Werthe in die Formel (7) ein, so ergiebt sich bei der Aluminiumkathode:

1. $\varepsilon . V_0$ für O $= 6{,}9 \ . 10^{-9}$

$\frac{m}{2} v^2$ für O $= 2{,}86 . 10^{-9}$

$\alpha^2 \frac{m}{2} v^2$ für O $= 2{,}57 . 10^{-8}$

$\varepsilon . V_0$ für Al $= 1{,}04 . 10^{-8}$;

2. $\alpha^2 \frac{m}{2} v^2$ für O $= 3{,}8 \ . 10^{-8}$

εV_0 für Al $= 1{,}11 . 10^{-8}$.

bei der Eisenkathode:

$$\alpha^2 \frac{m}{2} v^2 \text{ für O} = 3{,}17 \cdot 10^{-8}$$

$$\varepsilon V_0 \text{ für Fe} = 8{,}18 \cdot 10^{-9};$$

bei der Platinkathode:

$$\alpha^2 \frac{m}{2} v^2 \text{ für O} = 3{,}71 \cdot 10^{-8}$$

$$\varepsilon V_0 \text{ für Pt} = 1{,}72 \cdot 10^{-8}.$$

Für O ergiebt sich zwar auch eine einheitliche Geschwindigkeit für die Kathodenstrahlen wie für Wasserstoff, doch ist für die Formel (7) eine Gleichheit der Art, wie dies beim Wasserstoff der Fall war, nicht erkennbar.

Aus den obigen Zahlen ersieht man, dass, wenn man für ε/m den Werth für irgend ein Element setzt, zu kleine Geschwindigkeiten im Vergleiche mit der aus den Ablenkungsbeobachtungen bestimmten resultiren. Auf der anderen Seite würde für die Annahme geschleuderter Wasserstofftheilchen, die Hr. Villard vorschreibt, allerdings der Umstand sprechen, dass dann eine ausserordentlich gute Uebereinstimmung der Werthe für $\alpha(m/2)v^2$ und εV_0 resultirt. Indessen bleibt aber noch die Schwierigkeit zu heben, wie die etwa 100 mal grössere Grössenordnung für die Geschwindigkeit, wie sie sich aus den Ablenkungsbeobachtungen ergiebt, zu erklären ist, wenn man sich nicht zu der Annahme von Mikroionen, wie sie J. J. Thomson annimmt, entschliessen will.

Resultate.

A. Für Canalstrahlen.

I. Bei gleichmässig fortschreitender Evacuation und constanter Elektricitätszufuhr ist der Augenblick des ersten nachweisbaren Auftretens der Canalstrahlen vom Kathodenmateriale (Al, Fe, Pt) unabhängig; er ist dagegen von dem Druck, den die Gasfüllung im Entladungsrohre ausübt, in der Weise abhängig, dass die molecularen Weglängen der verschiedenen Gase (H_2, N_2, CO_2) einen bestimmten gleichen Werth erhalten haben müssen, der für meine Röhren 0,541 mm beträgt, bei einem Abstand der Auffangelektrode von der Kathode von 4 cm; derselbe

liegt bei H_2 bei 0,261 mm Hg = 347 Dynen pro cm^2, bei N_2 bei 0,141 mm Hg = 187 Dynen pro cm^2 und bei CO_2 bei 0,094 mm Hg = 125 Dynen pro cm^2. Bei denselben Drucken haben auch die Querschnitte sämmtlicher Molecüle im cm^3 den gleichen Werth, nämlich 3,24 cm^2.

II. Dieses ist zugleich etwa der Augenblick, wo die Spannungsdifferenz zwischen der Anode und Kathode, die vordem beständig abnahm, wieder zu wachsen beginnt.

III. In dem Augenblicke, wo mit der Evacuation soweit fortgeschritten ist, dass die Bewegungsgrösse des geschleuderten Metalles gleich oder grösser geworden ist, als die Bewegungsgrösse der den Gasraum erfüllenden Molecüle, beginnen die Canalstrahlen eine bestimmte Entfernung zu erreichen.

IV. Die Canalstrahlen bestehen wahrscheinlich aus positiven Ionen des Kathodenmateriales.

V. Für die Geschwindigkeit v, mit der die fortgeschleuderten materiellen Theilchen den Gasraum durchfliegen, haben sich die Werthe ergeben:

Al v bei 4600 Volt Spannung $5{,}73 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}]

Fe v bei 5200 Volt Spannung $3{,}6 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}]

Pt v bei 5350 Volt Spannung $1{,}69 \cdot 10^7$ [cm sec^{-1}].

VI. Hingegen wird durch die Canalstrahlen der auffangenden Wand zu wenig Materie zugestrahlt, als dass dieselbe nachgewiesen werden könnte, da bei den hier gegebenen Bedingungen schon ein Absetzen von nur 1 mg Al etwa 288 Stunden ununterbrochener Versuchsdauer erfordern würde.

VII. Von der dem Entladungsrohre zugeführten Energie werden etwa 11 Proc. bis 18 Proc. von den Canalstrahlen als Wärme wieder abgegeben.

B. Für Kathodenstrahlen.

I. Die übertragene Elektricitätsmenge ist bei sehr geringen Drucken von der Gasfüllung des Rohres vollkommen unabhängig.

II. Von der dem Entladungsrohre zugeführten Energie wurden durch die Kathodenstrahlen etwa 16 Proc. als Wärme wieder abgegeben.

Zum Schlusse möchte ich mir noch erlauben, Hrn. Prof. Dr. H. Ebert für die vielseitigen Anregungen und freundlichen Unterstützungen meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Die vorliegende Arbeit ist im Physikalischen Institute der Technischen Hochschule zu München ausgeführt worden.

Vitae curriculum

Pauli Ewers

rerum naturae studio dediti.

Natus sum Lubecae anno MDCCCLXXV kal Sept patre Eduardo, matre Mathilde, oriunda egente Drewing. Postquam gymnasio Catharinei Lubecensis per septem annos operatus sum, vere anni MDCCCLXXXXVI maturitatis testimonium assecutus primum Heidelbergis, deinde Monachiae in sede artium technicarum, tum Kiliae, denique Monachiae in universitate Ludovic-Maxim. mathematicis physicis chimicis philosophicis studiis sexies per sex menses me dedi.

Audivi viros clarissimos:

Cantor, Dyk, Ebert, Güttler, Königsberger, Korn, Kreutz, Lindemann, v. Miller †, Muthmann, Pochhammer, v. Reber, Riehl, Sohncke †, Stäckel, L. Weber.

In laboratorio physico Monachiae instruente viro doctissimo Sohncke bis per sex menses, Kiliae et Monachiae ter per sex menses auctore clarissimi professoris H. Ebert in observationibus elaboravi.

Quibus omnibus professoribus, imprimis viro perdocto H. Ebert, qui studiis meis cum Kiliae tum Monachiae benignissime favit, singulares gratias ago.